

Klimawandel

Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten

Quartalsplanung

Simon Gmünder

Fach: Fachdidaktik „Didaktisches Zertifikat Umweltlehre“ ETH

Mentor: Felix Keller

Vorgesehene Klassenstufe: Fachhochschule

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Didaktische Leitidee	“Ein Weiter-So gibt es nicht. Der Klimaschutz ist die größte Herausforderung des 21. Jahrhunderts.” Das Zitat von Angela Merkel unterstreicht die gegenwärtige Brisanz des Themas „Klimawandel“, dass die gesamte Menschheit betrifft – unabhängig davon wie viel jeder einzelne dazu beiträgt. Doch wer und was sind eigentlich die Ursachen der schleichenden Bedrohung? Welche konkreten Auswirkungen hat der Klimawandel global und in der Schweiz? Was können wir dagegen unternehmen und wie können wir uns darauf vorbereiten? Die Studentinnen und Studierenden des Studienganges „Erneuerbare Energien und Umwelttechnik“ sollen dabei im Rahmen der Unterrichtseinheit “Klimawandel – Ursachen, Folgen und Handlungsoptionen” die wissenschaftlichen Grundlagen über die Funktionsweise des Klimasystems, sowie über die Ursachen, die Entwicklung und die Auswirkungen des Klimawandels erarbeiten. Darüber hinaus werden verschiedene technische Massnahmen zum Klimaschutz und klimafreundliche Handlungsoptionen für den Privathaushalt erarbeitet.
Schlagwörter	Klimawandel, IPCC, Fachdidaktik, Umweltlehre
Entstanden (Semester)	März 2012
Unterrichtserprobung?	Nein

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Bild der Lerngruppe.....	2
2.1. Schule und Fachrichtung	2
2.2. Vorkenntnisse und Erfahrung der Lernenden	2
2.3. Klassenspezifische Eigenschaften.....	2
2.4. Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung des Themas	3
3. Sachanalyse	5
3.1. Was versteht man unter Klima und wie entsteht es?	5
3.1.1. <i>Der Unterschied von Wetter und Klima</i>	5
3.1.2. <i>Das Klimasystem</i>	6
3.1.3. <i>Der Austausch von Energie und Stoffen</i>	8
3.2. Klimawandel: Was lässt sich beobachten?.....	9
3.2.1. <i>Direkte Beobachtungen</i>	9
3.2.2. <i>Paläoklimatische Perspektive</i>	11
3.3. Welches sind die Ursachen des Klimawandels?.....	12
3.3.1. <i>Globale Energiebilanz</i>	12
3.3.2. <i>Natürlicher Klimawandel</i>	13
3.3.3. <i>Anthropogen verursachter Klimawandel</i>	14
3.3.4. <i>Die Klimaskeptiker über die Ursachen des Klimawandels</i>	16
3.4. Wie entwickelt sich das Klima?	17
3.4.1. <i>Klimamodelle</i>	17
3.4.2. <i>Klimavorhersagen global</i>	17
3.4.3. <i>Klimavorhersagen für die Schweiz</i>	19
3.5. Was sind die Folgen vom Klimawandel?	20
3.6. Welche Handlungsoptionen haben wir?	22
3.6.1. <i>Mitigation und Adaption an den Klimawandel</i>	22
3.6.2. <i>Was unternimmt die Politik?</i>	24
3.6.3. <i>Was können wir tun?</i>	26
4. Formulierung von Lernzielen	27
4.1. Leitidee	27
4.2. Dispositionsziele	27
4.3. Operationalisierte Lernziele.....	27
5. Didaktisch methodische Überlegungen	29

5.1. Begründung des didaktischen Aufbaus.....	29
5.2. Begründung des methodischen Vorgehens	30
6. Unterrichtsplanung	33
6.1. Lektion 1: Wie entsteht das Klima?.....	33
6.2. Lektion 2: Klima – was lässt sich beobachten?	34
6.3. Lektion 3: Was sind die Ursachen des Klimawandels?	35
6.4. Lektion 4: Wie entwickelt sich das Klima?	35
6.5. Lektion 5: Was sind die Auswirkungen des Klimawandels?	36
6.6. Lektion 6: Klimaschwindel?.....	37
6.7. Lektion 7: Was unternimmt die Politik und was sind mögliche technische Massnahmen?	38
6.8. Lektion 8: Wie bewerte ich die Klimafreundlichkeit von Produkten und Dienstleistungen?	39
6.9. Lektion 9: Was kann ich als Privatperson tun?	40
6.10. Übersicht Unterrichtsablauf.....	41
7. Prüfungsformen.....	43
8. Literaturverzeichnis	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ngram Viewer: Häufigkeit der Begriffe „climate change“ und „global warming“ aus der amerikanischen Literatur.....	3
Abbildung 2: Wortzählung von dem IPCC-Bericht: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen (IPCC 2007a). Die Häufigkeit der Wörter im Bericht ist durch die Schriftgrösse ausgedrückt (Wordle.net).	4
Abbildung 3: Bilder von extremen Wetterereignissen (Dürre und Überschwemmung von http://www.publicdomainpictures.net , Hurrikane und Gewitter von http://www.sciencekids.co.nz).	6
Abbildung 4: Der Austausch von Stoffen und Energie im Klimasystem (Liedtke, Welfens et al. 2008).....	7
Abbildung 5: Der Kohlenstoffkreislauf [Gt C pro Jahr] (Liedtke, Welfens et al. 2008).	9
Abbildung 6: Linearer Trend der jährlichen Durchschnittstemperatur von 1901 bis 2005. Grau: unzureichende Daten für die Berechnung eines robusten Trends. Hochsignifikante (5%) Trends sind mit einem weissen Kreuz markiert. (IPCC 2007d).	10
Abbildung 7: Beobachtete Änderungen (a) der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur; (b) des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs aus Pegelmessungen (blau) und Satellitendaten (rot) und (c) der nordhemisphärischen Schneebedeckung im März und April. Alle Änderungen beziehen sich auf das Mittel des Zeitraums 1961–1990. Die geglätteten Kurven repräsentieren die über ein Jahrzehnt gemittelten Werte, während Kreise die Jahreswerte darstellen. Die schattierten Flächen zeigen die geschätzten Unsicherheitsbereiche aufgrund einer umfangreichen Analyse bekannter Unsicherheiten (a und b) und aus den Zeitreihen (c). (IPCC 2007a)	11
Abbildung 8: Paläo-Rekonstruktionen der Nordhemisphäre über die letzten 1000 Jahre (IPCC 2007d).	12
Abbildung 9: Abschätzung der jährlich und global gemittelten Energiebilanz der Erde (IPCC 2011).....	13
Abbildung 10: Links: Schätzungen und Bandbreiten des global gemittelten Strahlungsantriebs (SA) im Jahr 2005 für anthropogenes Kohlendioxid (CO ₂), Methan (CH ₄), Lachgas (N ₂ O) und andere wichtige Faktoren und Mechanismen. Der Nettobetrag und die Bandbreite des anthropogenen Strahlungsantriebs sind ebenfalls angeführt Rechts: die Änderung der Treibhausgase in den letzten 10.000 Jahren (IPCC 2007a).	14
Abbildung 11: Vergleich der beobachteten Änderungen der Erdoberflächentemperatur auf kontinentaler und globaler Skala mit den von Klimamodellen auf Grund natürlicher und anthropogener Antriebe berechneten Resultaten. Die Jahrzehnt-Mittel der Beobachtungen sind für den Zeitraum 1906–2005 (schwarze Linie) im Zentrum des Jahrzehnts und relativ zum entsprechenden Mittel von 1901–1950 eingezeichnet. Die Linien sind gestrichelt, wenn die räumliche Abdeckung weniger als 50% beträgt. Blau schattierte Bänder zeigen die 5–95%-Bandbreite für 19 Simulationen von 5 Klimamodellen, welche nur die natürlichen Antriebe durch Sonnenaktivität und Vulkane berücksichtigen. Rot schattierte Bänder zeigen die 5–95%-Bandbreite für 58 Simulationen von 14 Klimamodellen unter Verwendung sowohl der natürlichen als auch der anthropogenen Antriebe (IPCC 2007a).....	16

Abbildung 16: Die durchgezogenen Linien sind globale Multimodell-Mittel der Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zu 1980–99) für die Szenarien A2, A1B und B1, dargestellt als Verlängerungen der Simulationen für das 20. Jahrhundert. Die Schattierung kennzeichnet die Bandbreite von plus/minus einer Standardabweichung der einzelnen Modell-Jahresmittel (IPCC 2007a). 18

Abbildung 17: Relative Änderungen der Niederschläge (in Prozent) für den Zeitraum 2090–2099 im Vergleich zu 1980–1999. Die Werte sind Multimodell-Mittel, basierend auf dem SRES-A1B-Szenario für Dezember bis Februar (links) und Juni bis August (rechts). Flächen, für welche weniger als 66% der Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderung übereinstimmen, sind weiss; solche, für welche mehr als 90% der Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderungen übereinstimmen, sind punktiert (IPCC 2007a). 19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Wirtschaftszweige (Liedtke, Welfens et al. 2008). 21

Tabelle 2: Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Emissionsminderung nach Sektoren (Liedtke, Welfens et al. 2008). 23

Tabelle 3: Ausgewählte sektorale Politiken, Massnahmen und Instrumente, die sich im jeweiligen Sektor in mindestens einigen nationalen Fällen als umweltwirksam erwiesen haben (IPCC 2007d). 25

Tabelle 4: Tipps für den Klimaschutz – heute – morgen - übermorgen (kg CO₂ Emissionen pro Jahr und Person, typische Werte) aus (Liedtke, Welfens et al. 2008). 26

Tabelle 5: Übersicht über den Inhalt, die Unterrichtsmethoden und die didaktische Funktion für jede der 9 Unterrichtslektionen. 42

Die Abbildungen 4 und 5, sowie die Tabelle 1, 2 und 4 stammen aus dem didaktischen Unterrichtsmaterial „Klima und Ozeane“ der Bildungsinitiative „Mut zur Nachhaltigkeit“ (<http://www.mut-zur-nachhaltigkeit.de/>). Besten Dank für die Erteilung der Nutzungsrechte!

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Lehrganges „Didaktisches Zertifikat in Umweltlehre“ der ETH erstellt. Das Ziel der Arbeit ist es, einen Unterrichtsblock von 10 Lektionen zum Thema „Klimaerwärmung – Ursachen, Folgen und Handlungsoptionen“ didaktisch und sachlich korrekt auszuarbeiten. Der Unterrichtsblock ist für Studentinnen und Studierenden (fortan mit SuS abgekürzt) des Studienganges „Erneuerbare Energien und Umwelttechnik“ der Fachhochschule Rapperswil zugeschnitten.

In einem ersten Schritt wurde die didaktische Analyse durchgeführt, bei der die Lerngruppe und deren Vorkenntnisse beschrieben, sowie die Zukunft- und Gegenwartsbedeutung des Themas „Klimawandel“ aufgezeigt werden (Kapitel 2). In dem nächsten Kapitel werden die für das Verständnis des Klimawandels nötigen wissenschaftlichen Begriffe und Konzepte aufgearbeitet (Kapitel 3). Basierend auf den Vorkenntnissen der SuS und der Sachanalyse werden die Lernziele definiert (Kapitel 4) und der didaktische-methodische Gang zur Umsetzung der Unterlagen beschrieben (Kapitel 5). In Kapitel 6 wird ein möglicher Ablauf der jeweiligen Unterrichtseinheiten aufgezeigt, wobei die einzelnen Lektionen nicht vollständig ausgearbeitet werden. Am Schluss wird aufgezeigt, wie der Lernprozess der SuS mittels formativen Prüfungen während des Unterrichtsblocks analysiert und mittels summativen Prüfungen am Ende des Unterrichts geprüft werden kann (Kapitel 7).

2. Bild der Lerngruppe

2.1. Schule und Fachrichtung

Die Quartalsplanung für den Unterrichtsblock „Klimawandel – Ursachen, Folgen und Handlungsmöglichkeiten“ ist für die Fachhochschule für Technik in Rapperswil zugeschnitten und wird über 10 Wochen während je einer Doppelstunde pro Woche durchgeführt. Der Blockkurs findet im Grundlagenmodul „Umwelt und Ressourcen“¹ für Bachelor Studentinnen und Studierenden des Studienganges „Erneuerbare Energien und Umwelttechnik“² statt.

Das Studium „Erneuerbare Energien und Umwelttechnik“ an der Hochschule für Technik in Rapperswil hat das Bildungsziel, den angehenden Ingenieuren „das notwendige technische und naturwissenschaftliche Know-how zu vermitteln, um bestehende Produkte und Prozesse zu verbessern und um neue und kreative Ideen erfolgreich und wirtschaftlich in die Praxis umzusetzen.“ Dabei spielt auch die Bewertung der klimatischen Auswirkungen von neuen oder verbesserten Produkten oder Prozessen eine zentrale Rolle.

2.2. Vorkenntnisse und Erfahrung der Lernenden

Die SuS haben sich bereits vor dem Blockkurs mit den Ursachen und Folgen des Klimawandels grob auseinandergesetzt. Zudem bringen die angehenden Ingenieure ein Grundwissen über die Konzepte des Klimasystems (Entstehung von Winden, Meeresströmungen) mit. Dabei ist das Wissen über die Entstehung und die Folgen des Klimawandels lückenhaft.

Die SuS haben vor allem ein grosses Vorwissen über technische Massnahmen die eine Verminderung der Treibhausgase herbeiführen. Insbesondere ist die Funktionsweise von verschiedenen erneuerbaren Energiesystemen und von energetisch optimierten Prozessen bekannt. Das Wissen über die Bewertung der Klimarelevanz der Technologien ist jedoch nur ansatzweise vorhanden. Darüber hinaus kennen die SuS ihren persönlichen CO₂ Fussabdruck nicht und sind auch über die klimapolitischen Geschehnisse nur oberflächlich im Bilde.

2.3. Klassenspezifische Eigenschaften

Die Klasse besteht aus 20 bis 30 SuS des zweiten Bachelor-Studienjahres. Sie ist offene Unterrichtsführung mit selbständigen Zweier- und Gruppenarbeiten gewohnt, so dass die Regeln der Interaktion und Durchführung nicht neu erarbeitet werden müssen. Dennoch ist beim methodischen Vorgehen zu berücksichtigen, dass der Leistungsstand bzw. die kognitiven Voraussetzungen der SuS sehr heterogen sind.

¹ https://unterricht.hsr.ch/staticWeb/allModules/19846_M_UmRes.html

² <http://www.hsr.ch/Erneuerbare-Energien-und-Umwel.5623.0.html>

2.4. Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung des Themas

Die wissenschaftliche und politische Debatte über den Klimawandel hat seit den 90er Jahren stark zugenommen (siehe Abbildung 1). Heutzutage ist der Klimawandel fast jedem ein Begriff und wird von vielen als die zentrale Herausforderung der Menschheit für das nächste Jahrhundert angesehen.

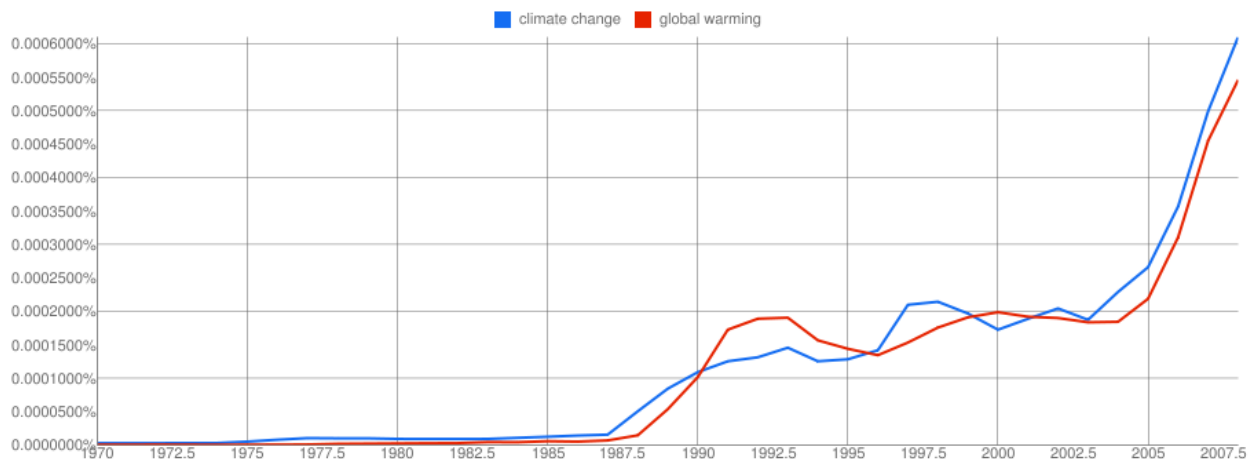


Abbildung 1: Ngram Viewer: Häufigkeit der Begriffe „climate change“ und „global warming“ aus der amerikanischen Literatur.

Der Begriff „Klimawandel“ wird generell mit einer vom Mensch herbeigeführten Erderwärmung verbunden, die den Meeresspiegel steigen und extreme Wetterereignisse häufiger werden lässt. Zudem ist der Klimawandel eine zentrale Treibkraft für die Nachfrage von erneuerbaren Energien und Umwelttechniken, die als Teil der Lösung unserer Klimaprobleme angesehen werden.

Dabei liegen dem „unsichtbaren“ Klimawandel hoch komplexe Mechanismen zugrunde, die von den Medien und der Politik nur lückenhaft oder teils gar fehlerhaft vermittelt werden (Zwick 2007). Dies führt dazu, dass die Schritte von den Ursachen zu den Auswirkungen im Allgemeinen schwer nachvollziehbar sind und die Wissenslücken oft mittels Fehlkonzepten geschlossen werden (Uherek 2008; Dupigny-Giroux 2010; Robinson 2011). So wird z.B. das Klima oft dem aktuellen Wetter gleichgesetzt (Mörgeli 2012) oder das Ozonloch als treibende Kraft für die Klimaerwärmung bezeichnet (Uherek 2008).



Abbildung 2: Wortzählung von dem IPCC-Bericht: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen (IPCC 2007a). Die Häufigkeit der Wörter im Bericht ist durch die Schriftgrösse ausgedrückt (Wordle.net).

Besonders für einen Umweltingenieur mit Fachvertiefung „erneuerbare Energien und Umwelttechnik“ ist es jedoch unerlässlich, nicht nur die einzelnen Schlagwörter (in Abbildung 2 grafisch dargestellt), sondern auch die Zusammenhänge zu verstehen. Es ist davon auszugehen, dass die meisten Absolventinnen und Absolventen des Studienganges „Erneuerbare Energien und Umwelttechnik“ sich im Berufsalltag mit dem Thema „Klimawandel“ aktiv auseinander setzen müssen. Mögliche praktische Fragestellungen können sein: Was ist die CO₂-Einsparungsmöglichkeit von neu entwickelten oder verbesserten Umwelttechniken? Welche Auswirkungen hat die internationale, nationale und lokale Klimapolitik auf die Nachfrage nach Umwelttechniken? Wie kann ich einem skeptischen Kunden die Relevanz des Klimawandels veranschaulichen und so die Vorteile von erneuerbaren Energien unterstreichen?

Um solche und andere beruflich relevanten Fragestellungen erfolgreich zu beantworten, muss ein Umweltingenieur über wissenschaftliche Grundkenntnisse über die Mechanismen des Klimasystems verfügen und die Ursachen, sowie die Entwicklung und die damit verbundenen Auswirkungen des Klimawandels verstehen. Zudem sollte ein Umweltingenieur in der Lage sein, die klimatischen Auswirkungen von neuen oder verbesserten Produkten oder Prozessen abschätzen können.

3. Sachanalyse

Im Folgenden werden die wichtigsten wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Ursachen und Folgen strukturiert zusammengetragen und Handlungsoptionen seitens der internationalen und nationalen Politik, sowie von Privatpersonen aufgezeigt.

Getrieben von der wachsenden Relevanz des Themas „Klimawandels“ ist eine Fülle von Information verfügbar, wobei viele dieser Quellen nicht wissenschaftlich fundiert oder lückenhaft, teils gar fehlerhaft, sind (Uherek 2008). Um die Bildung von Fehlkonzepten zu vermeiden wurde im Rahmen dieser Arbeit fast ausschliesslich Informationen aus den IPCC Berichten verwendet und in Anlehnung an das Lehrmaterial „Klima/Ozeane“ der Bildungsinitiative „Mut zur Nachhaltigkeit“ strukturiert.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): IPCC wurde 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) gemeinsam mit der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) eingerichtet und ist Teil der 1992 abgeschlossenen Klimarahmenkonvention (UNFCCC). Das IPCC fasst für seine im Abstand von etwa 6 Jahren erscheinenden Berichte die weltweiten Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Klimaveränderung zusammen. Der vierte Sachstandsbericht wurde 2007 veröffentlicht. Der fünfte Sachbericht wird voraussichtlich 2013 erscheinen (www.wikipedia.org).

Mut zur Nachhaltigkeit: Das Projekt „Mut zur Nachhaltigkeit“ ist eine in Deutschland angelegte Bildungsinitiative, die die Menschen zu einem verantwortungsvollen Handeln im Umgang mit unserer Erde bewegen soll. Namhafte Wissenschaftler haben zu dreizehn Themen zur Zukunft der Erde den Forschungsstand allgemein verständlich aufgearbeitet sowie Handlungsoptionen für verantwortungsvolles Verhalten dargestellt. Sechs Lehrmodule zu den Themen "Nachhaltige Entwicklung", "Konsum", "Klima/Ozeane", "Ressourcen/Energie", "Wasser/Ernährung/ Bevölkerung", "Wirtschaft/Neue Weltordnung" enthalten Übungen und umfassende Unterrichtsmaterialien, die für unterschiedliche Zielgruppen eingesetzt werden können. (<http://www.mut-zur-nachhaltigkeit.de>)

Im Folgenden wird der zu vermittelnde Inhalt sachlogisch gegliedert und die Inhalte der Einzelnen Unterrichtsblöcke umschrieben. Die Sachanalyse beginnt dabei mit der Frage nach der Klimaentstehung, wobei die zur Beantwortung der Frage notwendigen Grundlagen des Klimasystems vermittelt werden. Nachdem das Klimasystem mit seinen wichtigsten Komponenten und Kreisläufen dargestellt wurde, werden die Klimaentwicklung und deren Ursache beschrieben. Danach wird auf die Entwicklung des Klimas gemäss IPCC eingegangen und die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt aufgezeigt. Zum Schluss werden die verschiedenen Handlungsoptionen von Politikern sowie Privatpersonen aufgezeigt.

3.1. Was versteht man unter Klima und wie entsteht es?

3.1.1. Der Unterschied von Wetter und Klima

Um das Phänomen der Klimaänderung zu verstehen, ist die Differenzierung zwischen dem Begriff „Klima“ und „Wetter“ wichtig. Meteorologen bezeichnen das Wetter als kurzfristige Geschehnisse

in der Atmosphäre an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche (Bsp. von extremen Wetterereignissen, siehe Abbildung 3). Der augenblickliche Zustand der Atmosphäre kann durch verschiedene physikalische Grössen (Temperatur, Luftdruck, Feuchte, Luftbewegung, usw.) beschrieben werden (Szalai 2007).

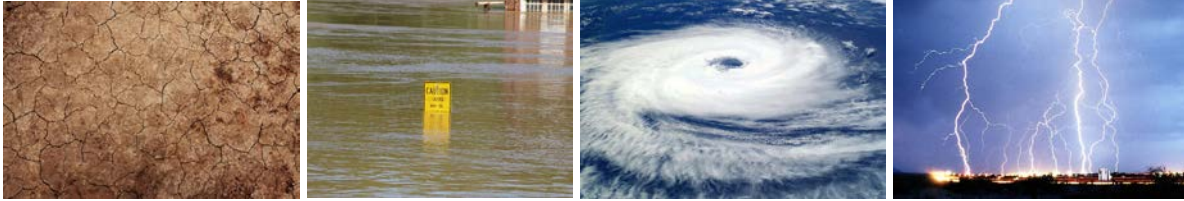


Abbildung 3: Bilder von extremen Wetterereignissen (Dürre und Überschwemmung von <http://www.publicdomainpictures.net>, Hurrikane und Gewitter von <http://www.sciencekids.co.nz>).

Der Begriff „Klima“ ist von dem griechischen Wort „klinein“ (neigen), in Anlehnung an die Neigung der Erdachse (Ekliptik), abgeleitet. Im Gegensatz zum Wetter kann man Klima nicht in Bildern erfassen. Klima kann im engen Sinne als „Durchschnittswetter“ oder anders gesagt, als die statistische Beschreibung von Durchschnitt und Variabilität von relevanten Grössen über einen Zeitraum von Monaten bis hin zu Millionen von Jahren, beschrieben werden. Dabei schlägt die World Meteorological Organization (WMO) eine sinnvolle Betrachtungszeitspanne von 30 Jahren vor.

3.1.2. Das Klimasystem

Um der Frage nach der Entstehung und Veränderung von Klima nachzugehen, müssen die Grundzüge des Klimasystems verstanden werden. Dabei ist das Klimasystem ein hoch komplexes System, bestehend aus den Subsystemen Atmosphäre, Hydrosphäre (Ozean und Wasserkreislauf auf Kontinenten und in der Atmosphäre), Kryosphäre (Eis und Schnee), Biosphäre (Tiere, Pflanzen, Mikroorganismen und Menschen), Pedosphäre (Boden) und Lithosphäre (Gestein). Das Klima entwickelt sich mit der Zeit unter dem Einfluss seiner eigenen internen Dynamik und aufgrund von Änderungen äusserer Faktoren, die das Klima beeinflussen (z.B. Vulkanausbrüche, die Sonneneinstrahlung und vom Menschen verursachte Änderungen) (IPCC 2011).

Die Abbildung 4 verweist auf die wichtigsten klimarelevanten Kopplungsmechanismen (interne Dynamik) der einzelnen Teilsysteme mit der Atmosphäre, die im Folgenden näher beschrieben werden. Die äusseren Antriebe werden in Kapitel 3.3 (Ursachen von Klimawandel) beschrieben.

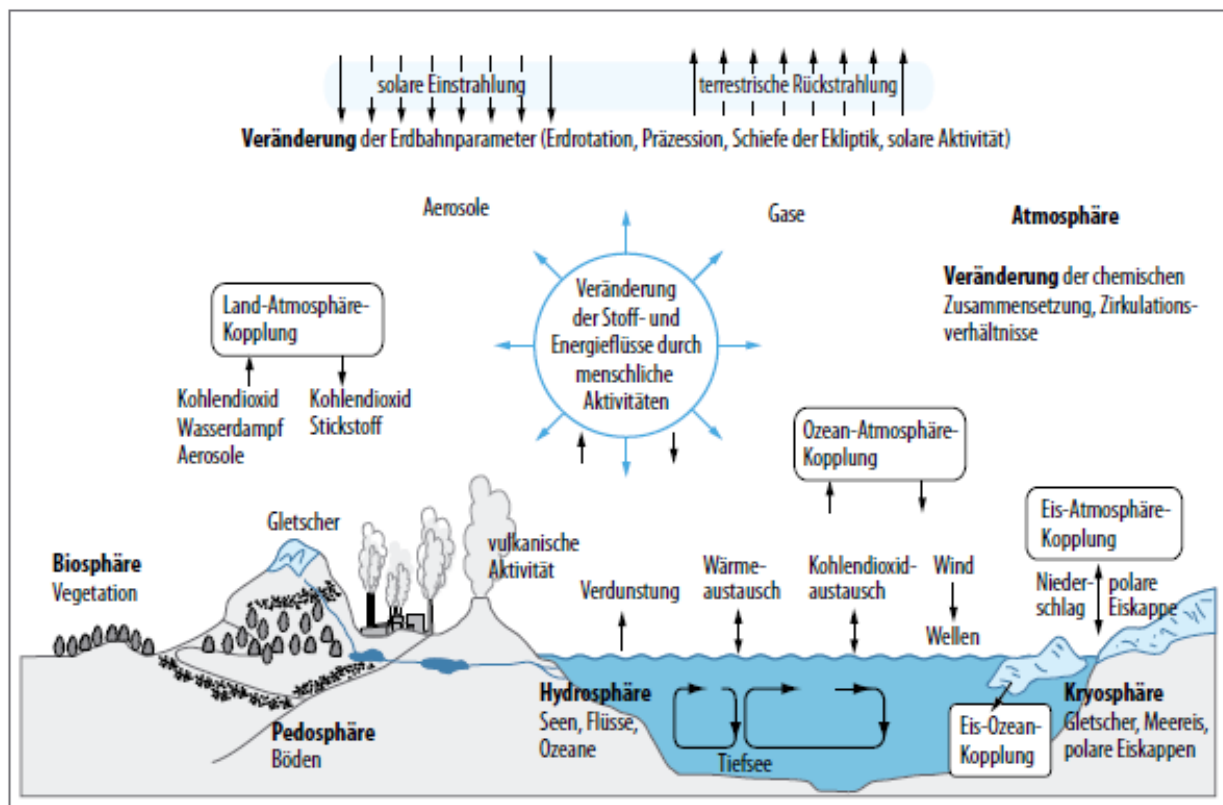


Abbildung 4: Der Austausch von Stoffen und Energie im Klimasystem (Liedtke, Welfens et al. 2008).

Durch die kugelförmige Gestalt der Erde und die geneigte Erdachse, variiert die Intensität der Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche je nach Standort. Die unterschiedlichen Strahlungsinintensitäten auf der Erde sind der Grund dafür, dass es verschiedene Klimazonen gibt (tropisches, subtropisches, gemäßigtes, kaltes und polares Klima). An den Polen ist die Strahlungsintensität kleiner als am Äquator, woraus ein Energiedefizit an den Polen und ein Energieüberschuss in den tropischen Breiten resultiert. Dabei werden die regionalen Energieunterschiede vor allem durch den Wärmetransport mittels Winde und Meeresströmungen verkleinert.

Die regionalen Temperaturunterschiede wirken sich auf den Luftdruck aus. Bei intensiver Sonneneinstrahlung erwärmt sich die Luft und da warme Luft leichter ist wie kalte, steigt die warme Luft auf. Durch das Aufsteigen der Luft sinkt der Luftdruck auf der Erdoberfläche und es entsteht ein sogenanntes Tiefdruckgebiet. Dabei strömt kalte Luft nach und es entstehen Winde, die zum Wärmetransport in höhere Breiten beitragen.

Die wichtigsten klimarelevanten Wechselwirkungen finden zwischen Atmosphäre und den Ozeanen (**Hydrosphäre**) durch den Austausch von Wärme und Nährstoffen statt. Der Austausch erfolgt durch die Meeresströmungen, die durch die Gezeiten, Winde oder durch thermohaline Antriebe (Salzgehalt und Temperatur) verursacht werden. Da Meerwasser ein guter Wärmespeicher ist (ca. 1000-mal höher als die Wärmespeicherkapazität von Luft) und somit die Wärme über weite Distanzen transportiert werden kann, trägt die Meereszirkulation erheblich zum Energieausgleich bei.

Die **Biosphäre** (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen und Menschen) beeinflusst vor allem die Chemie in der Atmosphäre. Durch die Atmung der Pflanzen wird der Atmosphäre Wasserdampf zugeführt und durch die Photosynthese wird der Atmosphäre Wasser und Kohlenstoff entzogen, der

erst bei der Zersetzung der Pflanzen oder bei Bränden wieder freigesetzt wird. Die Zufuhr von Wasserdampf erwärmt das Klima und der Entzug von Kohlenstoff kühlt es ab. Zudem beeinflusst die Biosphäre die lokalen Windverhältnisse, sowie den Erdalbedo (siehe Kapitel 3.3.3).

Für das Reflexionsvermögen der einfallenden Sonnenstrahlen (Albedo) ist die Bedeckung der Erdoberfläche mit Eis und Schnee (**Kryosphäre**) noch wichtiger. Bei Eis und Schnee liegt die Albedo zwischen 50% bis 90% (im Vergleich zu Ackerland, wo nur 10% bis 20% der Sonnenstrahlen reflektiert werden). Eine hohe Reflexion führt dabei zu einer Abkühlung, was wiederum die Schnee- und Eisbildung begünstigt (positive Rückkopplung). Bei einem Abschmelzen der Schnee- oder Eisdecke erwärmen sich jedoch die Luftschichten, was die Abschmelzung weiter ankurbelt.

Die Topografie des oberen Bereichs der Erdkruste (**Pedosphäre**) beeinflusst die atmosphärische Zirkulation und die Meeresströmung. Zudem beeinflussen die Böden die Vegetation und somit indirekt das Klima.

Veränderungen im festen Gestein (**Lithosphäre**), welches aus einzelnen Platten besteht, sind nur über Zeiträume von Millionen von Jahren relevant.

3.1.3. Der Austausch von Energie und Stoffen

Die verschiedenen Sphären der Erde befinden sich durch Energie- und Stoffflüsse im beständigen Austausch. Dabei sind vor allem zwei klimarelevante Kreisläufe, der Wasserkreislauf und der Kohlenstoffkreislauf hervorzuheben.

Wasserkreislauf

Das Wasser der Erde ist in ständiger Bewegung und wechselt zwischen verschiedenen Aggregatzuständen (fest, flüssig und gasförmig). Den grössten Wasserspeicher bilden die Ozeane (Süsswasser hat global lediglich einen Anteil von rund 2.5%). Angetrieben durch die Sonnenenergie, wird Wasser verdunstet und gelangt so in die Atmosphäre. In Form von Niederschlag (Regen oder Schnee) fällt das verdunstete Ozeanwasser wieder auf die Erdoberfläche.

Besonders der Wasserdampf nimmt dabei erheblichen Einfluss auf das Klima. Das Verdampfen von Wasser benötigt viel Energie, die der Umgebung in Form von Wärme entzogen wird. Kondensiert das Wasser wieder (z.B. bei der Tröpfchenbildung in den Wolken), wird diese Wärme wieder frei und bildet eine wichtige Energiequelle für die Atmosphäre. Weiter ist Wasserdampf ein natürliches Treibhausgas (Treibhauseffekt siehe Kapitel 3.3) und trägt durch die Wolkenbildung zur Kühlung der Erdoberfläche bei (Albedo siehe Kapitel 3.3).

Kohlenstoff-Kreislauf

Der Kohlenstoffkreislauf umschreibt die chemische Umwandlung von Kohlenstoff in seine verschiedenen Erscheinungsformen in den Sphären. Der grösste Anteil von Kohlenstoff ist in den Sedimenten und den Ozeanen eingebunden. Der Kohlenstoffaustausch hingegen findet vor allem der Atmosphäre, der Biosphäre und dem Ozean sowie durch die Verbrennung von fossilen Energien mit der Lithosphäre statt (siehe Abbildung 5).

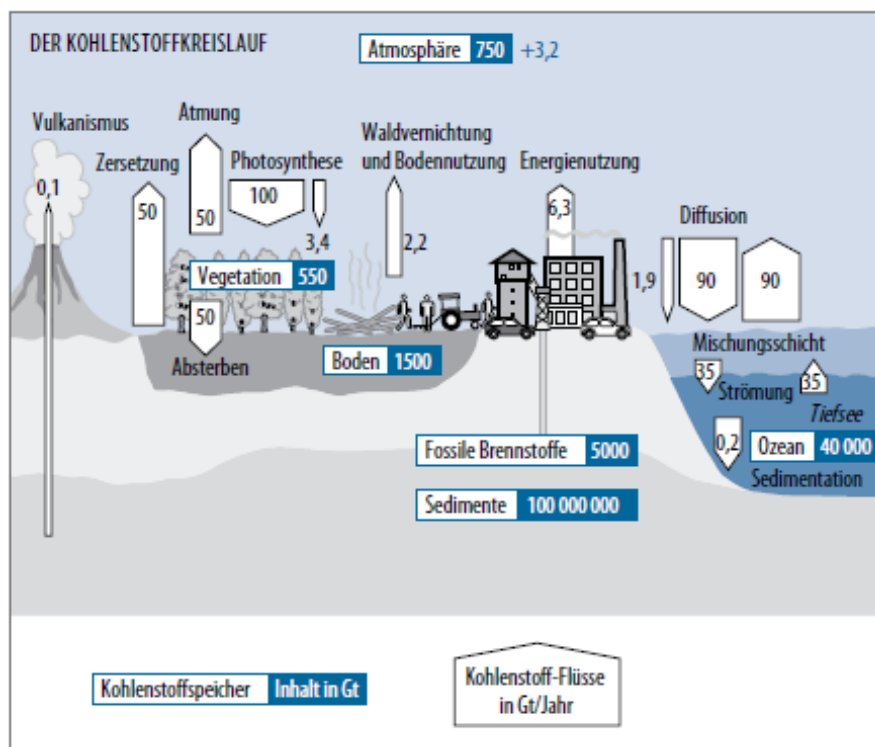


Abbildung 5: Der Kohlenstoffkreislauf [Gt C pro Jahr] (Liedtke, Welfens et al. 2008).

Durch die pflanzliche Fotosynthese wird der Atmosphäre Kohlenstoff entzogen (CO_2) und mithilfe von Lichtenergie in Glucose umgewandelt. Dabei wird der Kohlenstoff in Form von Biomasse gespeichert, bis die Biomasse durch Mikroorganismen wieder zersetzt oder durch Feuer verbrannt wird und so die aufgenommen Kohlenstoffe wieder in die Atmosphäre emittiert werden. Ferner wird Kohlenstoff durch die Atmung von Mensch und Tier durch Vulkanausbrüche und durch die Verbrennung von fossilen Energien freigesetzt.

Zwischen den Ozeanen und der Atmosphäre fließen grosse Mengen an CO_2 (rund 90 Gt C pro Jahr), wobei sich der Austausch praktisch in einem Gleichgewicht befindet.

Dabei ist es offensichtlich, dass der Mensch das Kohlenstoff-Gleichgewicht vor allem durch die Verbrennung von fossilen Energien und durch die Landumwandlung erheblich stört (mehr zu den Ursachen der Klimaerwärmung siehe Kapitel 3.3.3).

3.2. Klimawandel: Was lässt sich beobachten?

Gemäss IPCC bezieht sich die Klimaänderung auf die Änderung des Klimas im Verlauf der Zeit, sei dies aufgrund natürlicher Schwankungen oder menschlicher Aktivitäten (IPCC 2007a). Dabei können zwischen direkten Beobachtungen, die aus instrumentellen Messungen hervorgehen, und paläoklimatischen Erkenntnissen, die auf Proxy-Daten beruhen, unterschieden werden.

3.2.1. Direkte Beobachtungen

Laut IPCC ist die **Temperatur** der Erdoberfläche im globalen Durchschnitt in den letzten hundert Jahren (1906–2005) um rund 0,74 [0,56 bis 0,92] °C angestiegen (siehe

Abbildung 7). Dabei gehören elf der letzten zwölf Jahren zu den wärmsten Jahren seit der instrumentellen Messung der globalen Erdoberflächentemperatur (seit 1850). (IPCC 2007a)

Obwohl der Temperaturanstieg im globalen Mittel signifikant ist, lässt sich dieser Anstieg nicht in allen Regionen erkennen (siehe Abbildung 6). Zum Beispiel, haben sich einige Regionen in den USA und im Nordatlantik über das letzte Jahrhundert abgekühlt. Auf der anderen Seite sind die durchschnittlichen Temperaturen in der Arktis in den letzten 100 Jahren fast doppelt so schnell gestiegen wie im globalen Mittel.

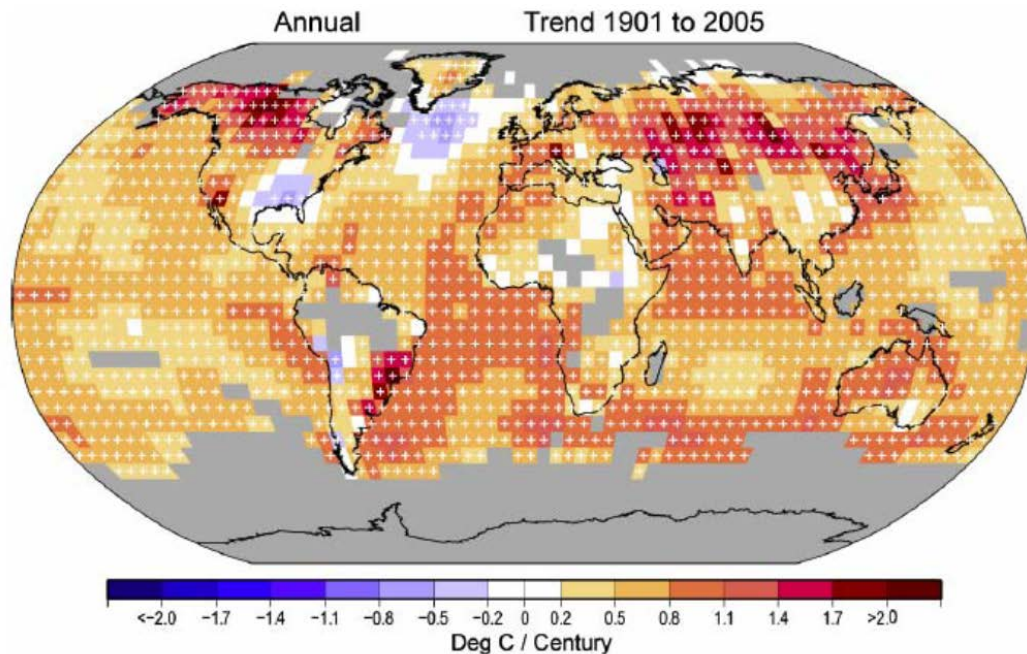


Abbildung 6: Linearer Trend der jährlichen Durchschnittstemperatur von 1901 bis 2005. Grau: unzureichende Daten für die Berechnung eines robusten Trends. Hochsignifikante (5%) Trends sind mit einem weissen Kreuz markiert. (IPCC 2007d).

Wie aus Abbildung 7 zu entnehmen ist, veränderte sich nicht nur die Temperatur, sondern auch der Meeresspiegel und die Schneebedeckung. Gemäss IPCC können bezüglich des globalen Meeresspiegels, der Gletscher, der Schneebedeckung und der Niederschlagsmengen folgende Aussagen gemacht werden:

„Der mittlere **globale Meeresspiegel** ist von 1961 bis 2003 mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1.8 [1.3 bis 2.3] mm pro Jahr gestiegen. Die Geschwindigkeit war zwischen 1993 und 2003 mit ungefähr 3.1 [2.4 bis 3.8] mm pro Jahr grösser. Es ist unklar, ob die grössere Geschwindigkeit von 1993–2003 eine dekadische Schwankung oder eine Zunahme des langfristigen Trends widerspiegelt. Mit hoher Wahrscheinlichkeit hat die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs vom 19. zum 20. Jahrhundert zugenommen. Der gesamte Anstieg im 20. Jahrhundert beträgt geschätzte 0.17 [0.12 bis 0.22] m.“ (IPCC 2007a)

„**Gebirgsgletscher und Schneebedeckung** haben im Mittel in beiden Hemisphären abgenommen. Die weit verbreitete Abnahme der Gletscher und Eiskappen hat zum Meeresspiegelanstieg beigetragen (Eiskappen schliessen die Beiträge der grönländischen und antarktischen Eisschilde nicht mit ein).“ (IPCC 2007a)

Für die **Niederschlagsmengen** von vielen grossräumigen Regionen sind langfristige Trends (1900 bis 2005) zu erkennen. Signifikante Niederschlagszunahmen wurden in östlichen Teilen

von Nord- und Südamerika, im Norden Europas und in Nord- und Zentralasien beobachtet. Der Sahel, der Mittelmeerraum, das südliche Afrika und Teile von Südasien sind trockener geworden. Seit den 1970er Jahren nehmen tendenziell die Intensität und die Länge von Dürren in den Tropen und Subtropen zu. (IPCC 2007a)

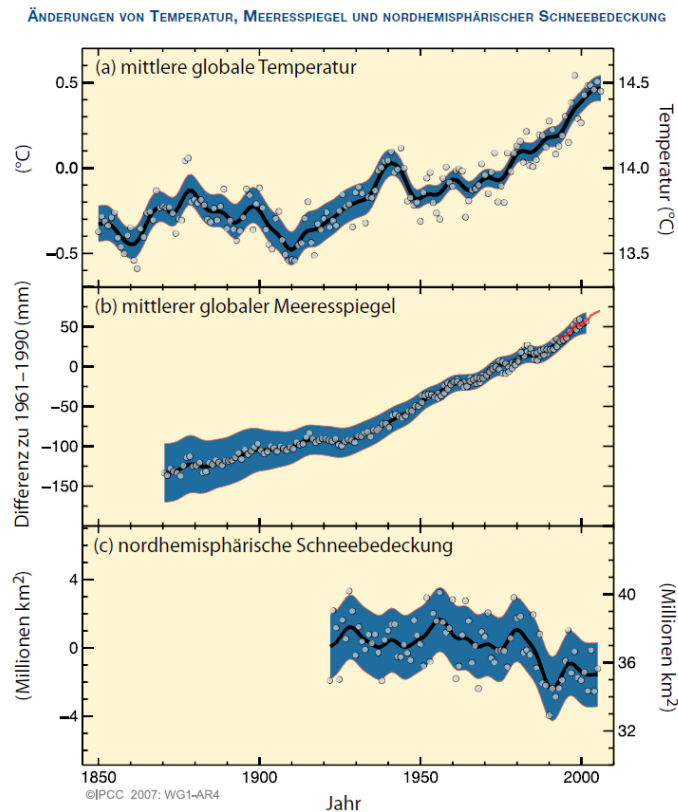


Abbildung 7: Beobachtete Änderungen (a) der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur; (b) des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs aus Pegelmessungen (blau) und Satellitendaten (rot) und (c) der nordhemisphärischen Schneebedeckung im März und April. Alle Änderungen beziehen sich auf das Mittel des Zeitraums 1961–1990. Die geglätteten Kurven repräsentieren die über ein Jahrzehnt gemittelten Werte, während Kreise die Jahreswerte darstellen. Die schattierten Flächen zeigen die geschätzten Unsicherheitsbereiche aufgrund einer umfangreichen Analyse bekannter Unsicherheiten (a und b) und aus den Zeitreihen (c). (IPCC 2007a)

3.2.2. Paläoklimatische Perspektive

Paläoklimatische Studien verwenden Veränderungen von klimatisch sensitiven Indikatoren, um daraus die klimatischen Verhältnisse der erdgeschichtlichen Vergangenheit (von Dekaden bis hin zu Millionen von Jahren) abzuleiten. Dies geschieht mithilfe von verschiedenen Proxy-Daten (z.B. aus Eisbohrkernen oder durch die Breite von Baumringen) (IPCC 2007a).

Im Folgenden werden die in den IPCC-Berichten zusammengefassten Erkenntnisse bezüglich der erdgeschichtlichen Temperatur- und Meeresspiegelentwicklung zitiert:

„Die mittleren Temperaturen in der Nordhemisphäre waren in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts sehr wahrscheinlich höher als während jedes anderen 50-Jahr-Abschnitts in den letzten 500 Jahren und wahrscheinlich die höchsten in zumindest den letzten 1300 Jahren.“ (IPCC 2007a).

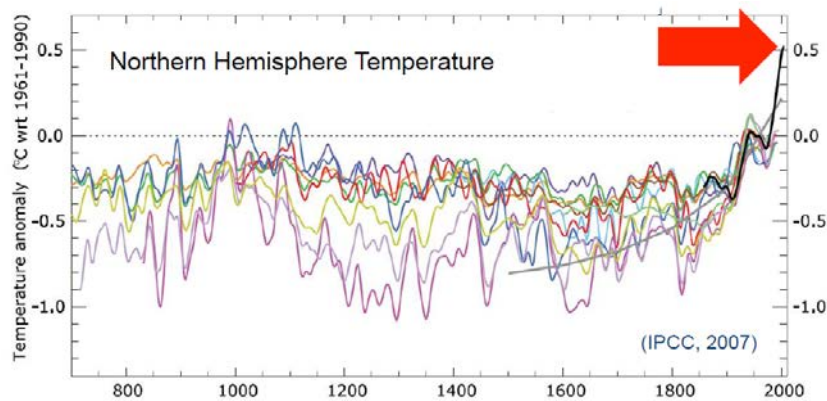


Abbildung 8: Paläo-Rekonstruktionen der Nordhemisphäre über die letzten 1000 Jahre (IPCC 2007d).

Gemäss den paläoklimatischen Analysen (verschiedene Studien normiert in Abbildung 8) war es während der mittelalterlichen Warmzeit wahrscheinlich nicht wärmer als heute. Somit unterstreichen die paläoklimatischen Analysen die auf den gemessenen Temperaturwerten basierenden Aussagen.

Dies kann bezüglich dem globalen Meeresspiegel nicht gesagt werden: „Der mittlere globale **Meeresspiegel** war während der letzten Zwischeneiszeit (vor etwa 125'000 Jahren) wahrscheinlich 4 bis 6 Meter höher als im 20. Jahrhundert, hauptsächlich aufgrund des Rückzugs des Polareises. Eisbohrkerndaten legen nahe, dass die durchschnittlichen polaren Temperaturen zu dieser Zeit aufgrund von Abweichungen in der Erdumlaufbahn um 3 bis 5 °C höher lagen als heute. Der grönländische Eisschild und andere arktische Eisfelder trugen *wahrscheinlich* nicht mehr als 4 Meter zum beobachteten Meeresspiegelanstieg bei. Die Antarktis könnte ebenfalls zum Anstieg beigetragen haben.“(IPCC 2007a)

3.3. Welches sind die Ursachen des Klimawandels?

Wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, wird das Klima von verschiedenen Faktoren beeinflusst, die natürlich stattfinden oder vom Menschen verursacht werden (anthropogene Faktoren). Im Folgenden werden die globale Energiebilanz, sowie deren wichtigste Einflussfaktoren beschrieben.

3.3.1. Globale Energiebilanz

Die von der Sonne auf der Erde eintreffende Strahlung, die sogenannte Globalstrahlung, beträgt im globalen Durchschnitt rund 342 W pro Quadratmeter. Rund 30% der einfallenden Sonnenenergie wird durch Wolken, Aerosole, atmosphärische Gase (77 W/m²) und an der Erdoberfläche (30 W/m²) wieder in den Weltraum reflektiert.

Die nicht reflektierte Energie (rund 240 W/m²) wird von der Erdoberfläche und der Atmosphäre absorbiert. Die absorbierte Energie wird wieder in die Atmosphäre abgegeben, wenn sich die Luft im Kontakt mit der Oberfläche erwärmt („Thermik“) und durch die Verdunstung von Wasser („Evapotranspiration“ genannt, 78 W/m²) sowie durch langwellige Strahlung (390 W/m²). Die Menge an langwelliger Wärmestrahlung hängt von der jeweiligen Temperatur ab. Gemäss dem Stefan-Bolzmannsgesetz strahlt ein Körper von rund -19°C die einfallenden 240W/m² ab. Glücklicherweise ist die mittlere Temperatur auf der Erde jedoch nicht -19°C, sondern 14°C. Der Grund dafür sind die Treibhausgase (z.B. Wasserdampf oder Kohlenstoffdioxid), die langwellige Strah-

lung³ in der Atmosphäre absorbieren und einen Teil davon wieder auf die Erde Rückstrahlen (324 W/m²). (IPCC 2011)

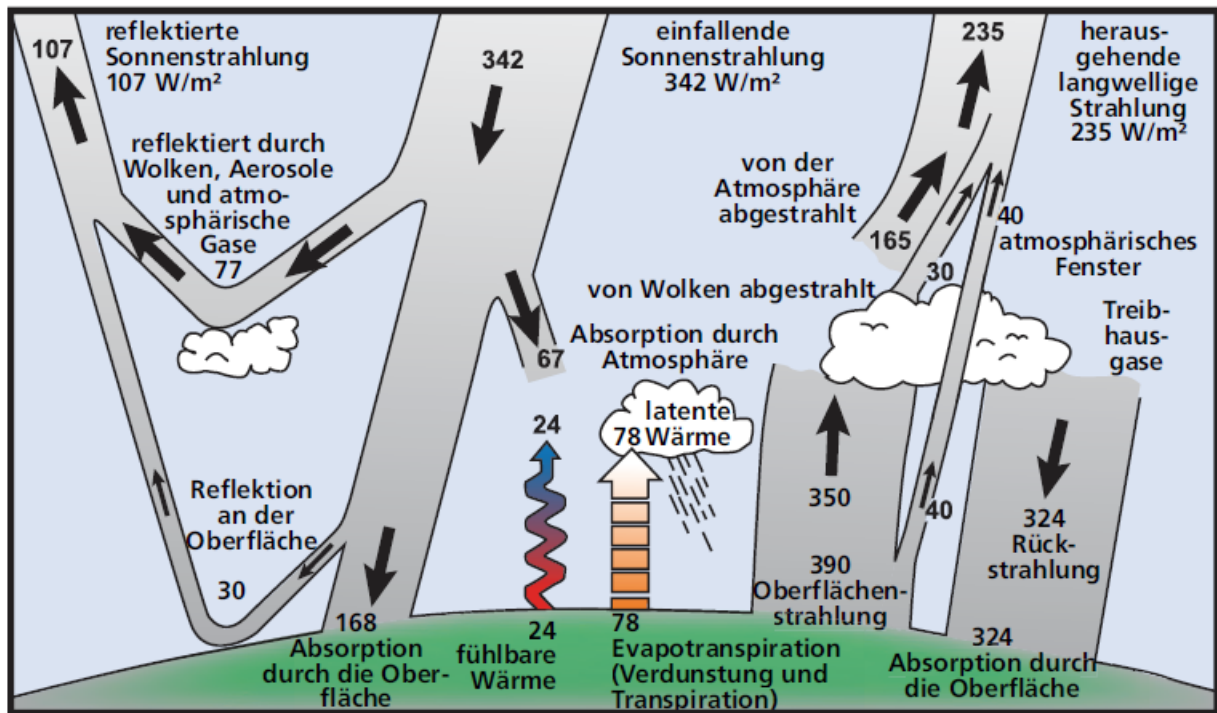


Abbildung 9: Abschätzung der jährlich und global gemittelten Energiebilanz der Erde (IPCC 2011).

Grundsätzlich lässt sich die Energiebilanz der Erde auf drei Arten beeinflussen:

1. Die einfallende Sonnenstrahlung verändert sich (z.B. Änderungen in der Umlaufbahn von Erde und Sonne -> siehe Kapitel 3.3.2).
2. Der Anteil der reflektierten Sonnenstrahlung ändert sich (z.B. Änderung der Erdoberflächen-Albedo -> siehe Kapitel 3.3.3)
3. Die Menge der rückgestrahlten langwelligen Strahlung ändert sich (z.B. durch Änderungen der Treibhausgaskonzentrationen -> siehe Kapitel 3.3.3)

3.3.2. Natürlicher Klimawandel

Die Sonneneinstrahlung auf die Erde ändert sich in regelmässigen Zyklen (Milankovitchs drei orbitalen Zyklen, 1930). Dies beeinträchtigt die Energiebilanz der Erde und erklärt teilweise die Entstehung von Eiszeiten und den dazwischenliegenden kürzeren Warmzeiten.

Weiter können Asteroideneinschläge, sich verändernde Meeresströme, der Kontinentaldrift oder starker Vulkanismus das Klima verändern. Bei Vulkanausbrüchen können Partikel und Gase bis in die Stratosphäre geschleudert werden. Dort können sie das Sonnenlicht reflektieren, was zu einer vorübergehenden Abkühlung führt.

Laut IPCC ist es jedoch sehr wahrscheinlich, dass die Klimaerwärmung nicht allein auf bekannte natürliche Ursachen zurückgeführt werden kann (IPCC 2007a).

³ Treibhausgase absorbieren nur die langwellige Strahlung und nicht das direkt einfallende, kurzwellige Sonnenlicht.

3.3.3. Anthropogen verursachter Klimawandel

Der grösste Teil des beobachteten Anstiegs der mittleren globalen Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist sehr wahrscheinlich durch den beobachteten Anstieg der anthropogenen **Treibhausgaskonzentrationen** verursacht (siehe Abbildung 10). Dabei ist Kohlendioxid das wichtigste anthropogene Treibhausgas (THG) und die erhöhten Konzentrationen (Abbildung 10, rechts) führen zu einer Steigerung des Strahlungsantriebes von rund 1.66 W/m^2 . Die Hauptquelle der erhöhten atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration seit der vorindustriellen Zeit ist der Verbrauch fossiler Brennstoffe, wobei Landnutzungsänderungen einen weiteren signifikanten, aber kleineren Beitrag liefern.

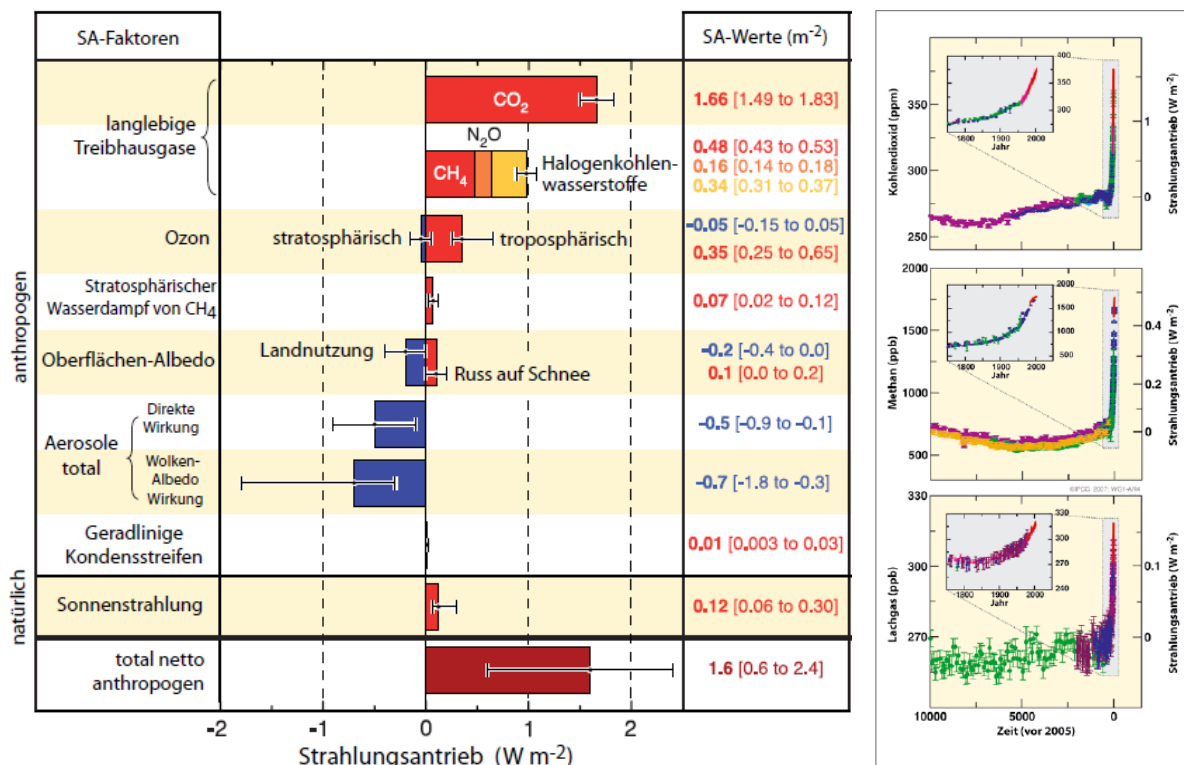


Abbildung 10: Links: Schätzungen und Bandbreiten des global gemittelten Strahlungsantriebs (SA) im Jahr 2005 für anthropogenes Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und andere wichtige Faktoren und Mechanismen. Der Nettobetrag und die Bandbreite des anthropogenen Strahlungsantriebs sind ebenfalls angegeben. Rechts: die Änderung der Treibhausgase in den letzten 10.000 Jahren (IPCC 2007a).

Es ist sehr wahrscheinlich, dass der beobachtete Anstieg der Methan-Konzentration auf menschliche Aktivitäten, vor allem auf die Landwirtschaft und den Verbrauch fossiler Brennstoffe, zurückzuführen ist. Die Lachgasemissionen sind anthropogen und primär durch die Landwirtschaft verursacht.

Dabei ist es gemäss IPCC wahrscheinlich, dass der Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen allein eine stärkere Erwärmung als die beobachtete hervorgerufen hätte, da vulkanische und anthropogene Aerosole einen Teil der Erwärmung aufgehoben haben (IPCC 2007a).

Aerosole sind ein Gemisch aus flüssigen oder festen Schwebeteilchen (z.B. Meersalz, Pollen oder Russpartikel) und einem Gas. Dabei reflektieren die Aerosole einen Teil der direkt einfallenden Sonnenenergie (-0.5 W/m^2). Weiter kondensieren an den Aerosolen kleine Wassertropfen, was

zur Wolkenbildung führt. Die Wolken reflektieren dabei ebenfalls das Sonnenlicht, wodurch eine Abkühlung hervorgerufen wird (-0.7 W/m^2).

Auch die Landumwandlung und die damit verbundene Änderung der Oberflächenalbedo trägt zur Strahlungsbilanz bei. Unter **Albedo** wird das Rückstrahlungsvermögen einer Oberfläche verstanden, wobei die Albedowerte zwischen 0 (kein Licht wird reflektiert) bis 1 (das gesamte Licht wird reflektiert) reichen. Global werden netto rund 7.3 Millionen Hektaren an Waldflächen zu Kulturlandschaften umgewandelt (FAOSTAT 2010). Dies hat einerseits zur Folge, dass enorme Mengen an Kohlenstoffdioxiden in die Atmosphäre emittiert werden (0.45 W/m^2). Ein Teil des dadurch erhöhten Strahlungsantriebes kann jedoch durch die Änderung der Oberflächenalbedo wieder kompensiert werden (-0.2 W/m^2), da die dunklen Waldflächen mehr Sonnenenergie absorbieren als Acker- oder Weideflächen. Des Weiteren tragen Russpartikel, die sich mit der Zeit auf dem Schnee oder dem Eis ablagern und somit die Albedo verkleinern, zur Erhöhung des Strahlungsantriebes bei (-0.2 W/m^2).

Der **natürliche Strahlungsantrieb** durch die veränderte Sonnenstrahlung erklärt nur einen Bruchteil der sich ändernden Energiebilanz. Dabei ist der Einfluss des Menschen auf den Temperaturanstieg nicht nur im globalen Mittel wahrscheinlich. Die Trends lassen sich auch auf allen Kontinenten erkennen (siehe Abbildung 11).

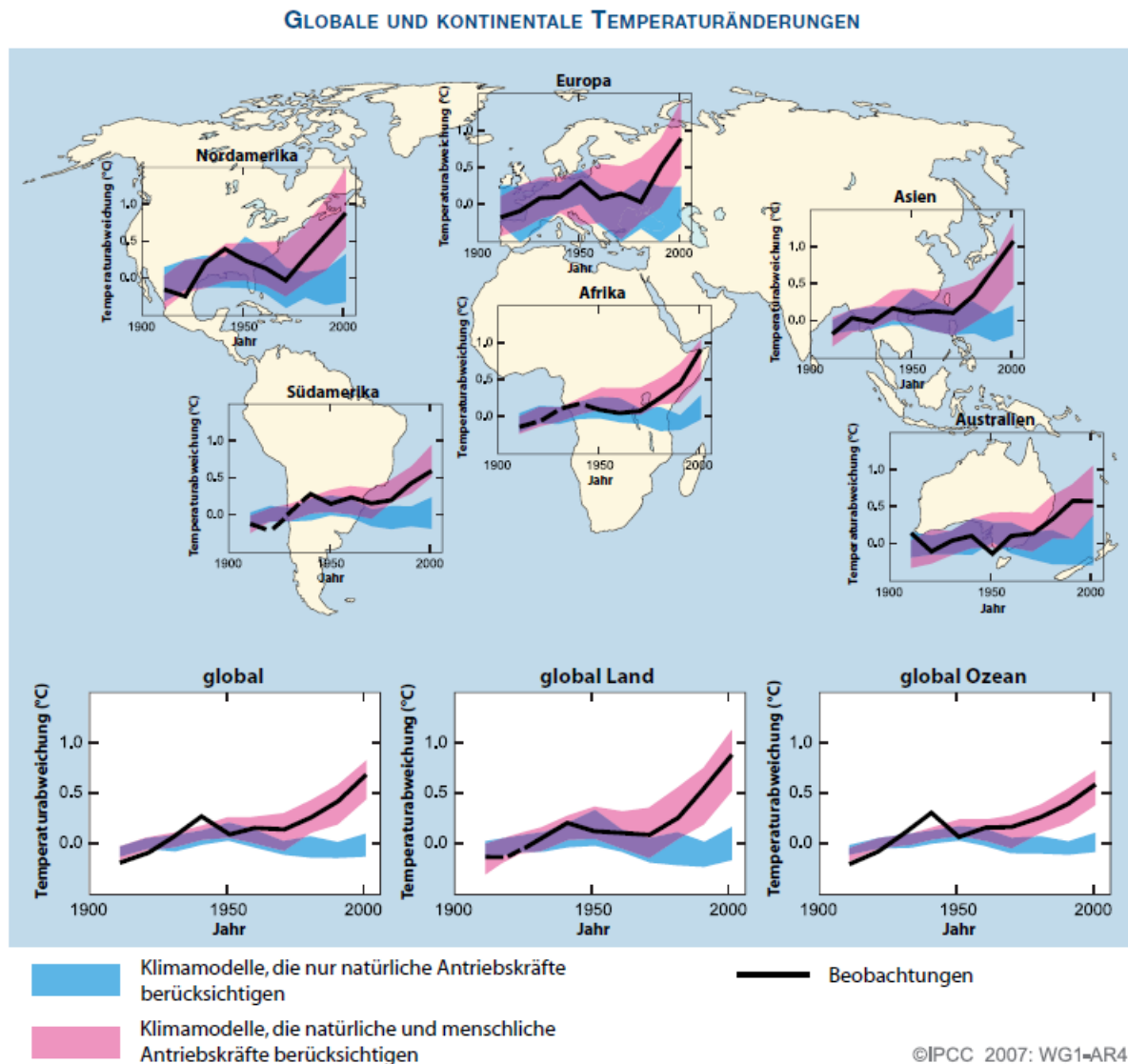


Abbildung 11: Vergleich der beobachteten Änderungen der Erdoberflächentemperatur auf kontinentaler und globaler Skala mit den von Klimamodellen auf Grund natürlicher und anthropogener Antriebe berechneten Resultaten. Die Jahrzehnt-Mittel der Beobachtungen sind für den Zeitraum 1906–2005 (schwarze Linie) im Zentrum des Jahrzehnts und relativ zum entsprechenden Mittel von 1901–1950 eingezeichnet. Die Linien sind gestrichelt, wenn die räumliche Abdeckung weniger als 50% beträgt. Blau schattierte Bänder zeigen die 5–95%-Bandbreite für 19 Simulationen von 5 Klimamodellen, welche nur die natürlichen Antriebe durch Sonnenaktivität und Vulkane berücksichtigen. Rot schattierte Bänder zeigen die 5–95%-Bandbreite für 58 Simulationen von 14 Klimamodellen unter Verwendung sowohl der natürlichen als auch der anthropogenen Antriebe (IPCC 2007a).

3.3.4. Die Klimaskeptiker über die Ursachen des Klimawandels

In dem hoch komplexen und für alle Menschen bedeutenden Wissenschaftsfeld der Klimafor-
schung ist es klar, dass die wissenschaftlichen Begründungen über die Ursachen und Folgen (siehe Kapitel 3.5) des Klimawandels angezweifelt werden. Die Klimaskepsis wird oft von Lobbyver-
bänden seitens der Erdölindustrie finanziert und die Argumente sind wissenschaftlich meist
widerlegt (Rahmstorf 2010). In dem Beitrag "der Kilmaschwindel", der im Jahr 2007 bei RTL aus-
gestrahlt wurde, wurde z.B. argumentiert, dass die Sonnenaktivität mit der Erdtemperatur korre-

liere und somit die Ursache der Klimaerwärmung natürlich sei⁴. Dabei wurde aber die Kurve der solaren Aktivität nur bis zum Jahr 1980 aufgetragen, weil diese nach 1980 weiter sinkt. Weiter wurde argumentiert, dass es im Mittelalter wärmer war als heute. Auch in dieser Abbildung wurden die Messdaten nicht vollständig aufgelistet (nur bis 1975, wobei es heute wärmer ist als im Mittelalter, siehe Abbildung 8). Dies ist nur ein Beispiel der Argumentation der Klimaskeptiker, wobei die meisten wissenschaftlich widerlegt werden konnten.

3.4. Wie entwickelt sich das Klima?

Die Abschätzung der Klimaentwicklung beruht auf Klimamodellen, die im Folgenden kurz beschrieben und deren Resultate erläutert werden.

3.4.1. Klimamodelle

Wie in Kapitel 3.1.2 erwähnt, ist das Klimasystem sehr komplex und hängt massgeblich von der inneren Dynamik (den Sphären und deren Kopplung) und den äusseren Antrieben ab. In Modellen wird immer die Realität vereinfacht dargestellt, wobei die wichtigsten Einflussfaktoren des abgebildeten Systems berücksichtigt werden müssen, um sich der „Realität“ möglichst gut anzunähern. Dementsprechend enthält ein vollständiges Klimamodell physikalische Beschreibungen (in Form von mathematischen Gleichungen) aller Sphären sowie die äusseren Antriebe und berücksichtigt ebenfalls ihre Kopplung. Dabei können je nach Fragestellung einzelne oder mehrere Komponenten in vereinfachter Form dargestellt oder sogar fest vorgeschrieben werden. Bei der Interpretation der Resultate ist es wichtig, sich über die dem Modell zugrundeliegenden Annahmen bewusst zu sein.

3.4.2. Klimavorhersagen global

Um eine konkrete Einschätzung der künftigen Klimaentwicklung zu erhalten, werden verschiedene Klimaszenarien anhand komplexer Klimamodellen getestet. Die Klimatrends der jeweiligen Szenarien dienen als Ausgangslage um die Folgen für die Umwelt und den Menschen, sowie die Wirksamkeit und Notwendigkeit verschiedener zukunftsorientierten Handlungsoptionen abschätzen zu können.

In einem Sonderbericht über Emissions Szenarien (SRES) hat IPCC insgesamt 35 klimarelevante Szenarien entwickelt, die in 4 Kategorien (A1, A2, B1 und B2) mit unterschiedlichen sozio-ökonomischen Annahmen gruppiert werden können:

- **A1:** Schnelles Wirtschaftswachstum, die Weltbevölkerung wächst bis 2050 und nimmt dann ab; schnelle Einführung neuer und effizienter Technologien; Ausgleich regionaler Unterschiede.
- **A2:** Heterogene Welt mit regionalen Unterschieden; kontinuierliches Bevölkerungswachstum; langsamer technologischer Wandel.
- **B1:** Weltbevölkerung nimmt bis 2050 zu, dann ab; technologischer Wandel fokussiert auf saubere und effizientere Technologien mit nachhaltigen Lösungen im ökonomischen, sozialen und ökologischen Bereich.

⁴ Siehe: <http://www.pik-potsdam.de/~stefan/klimaschwindel.html>

- **B2:** Weltbevölkerung nimmt kontinuierlich zu; ökonomische, soziale und ökologische Problemlösungen auf lokaler Ebene.

Basierend auf den verschiedenen Szenarien wurden die Emissionen für die wichtigsten klimarelevanten Gase und Aerosole in Abhängigkeit der Zeit modelliert.

Folgenderweise verursachen Szenarien, bei denen die Verbreitung von klimafreundlichen Technologien begünstigt werden (A1T und B1) und einen erhöhten Anteil an erneuerbaren Energien aufweisen (A1T), die geringsten Mengen an Kohlendioxid-Emissionen.

Werden nun die Temperaturentwicklungen der verschiedenen Szenarien betrachtet, lässt sich feststellen, dass „die Spannbreite der projizierten Temperaturzunahme bis 2100 zwischen 1,8 Grad Celsius (1,1–2,9 Grad Celsius) für das günstigste B1-Szenario und 4,0 Grad Celsius (2,4–6,4 Grad Celsius) für das ungünstigste Szenario A1FI“ liegt.

„Modellexperimente zeigen, dass in den nächsten zwei Jahrzehnten sogar dann ein weiterer Erwärmungstrend mit einer Geschwindigkeit von etwa 0,1 °C pro Jahrzehnt zu beobachten wäre, wenn alle Strahlungsantriebs-Faktoren auf dem Niveau des Jahres 2000 konstant gehalten würden. Dies ist hauptsächlich auf die langsame Reaktion der Ozeane zurückzuführen.“ (IPCC 2007a).

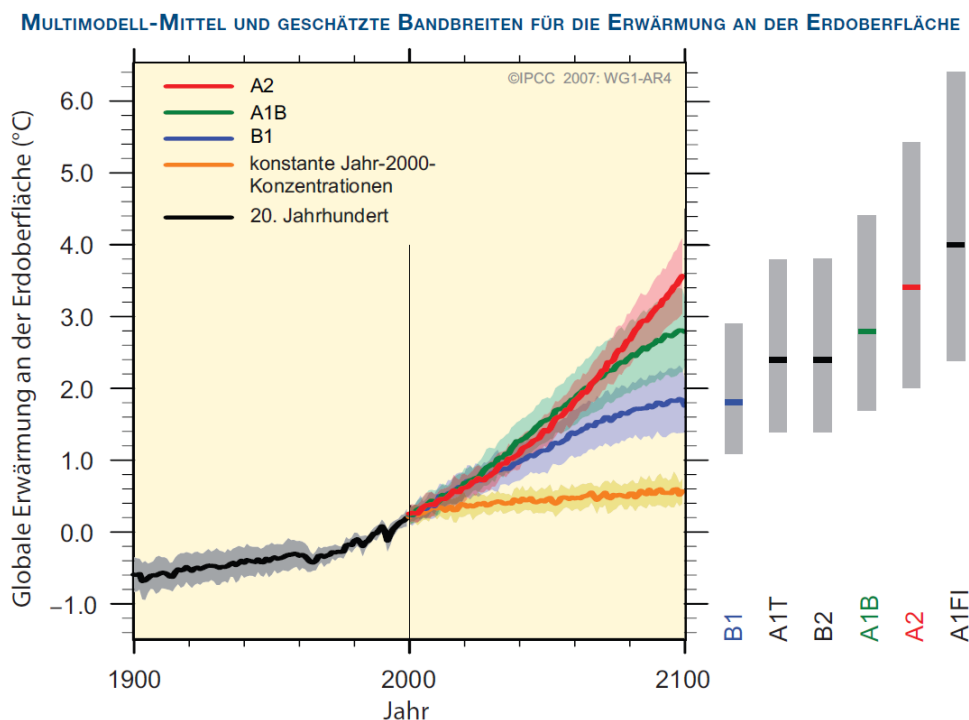


Abbildung 12: Die durchgezogenen Linien sind globale Multimodell-Mittel der Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zu 1980–99) für die Szenarien A2, A1B und B1, dargestellt als Verlängerungen der Simulationen für das 20. Jahrhundert. Die Schattierung kennzeichnet die Bandbreite von plus/minus einer Standardabweichung der einzelnen Modell-Jahresmittel (IPCC 2007a).

Wie in Abbildung 17 dargestellt, nehmen „die **Niederschlagsmengen** in höheren Breiten sehr wahrscheinlich zu, während Abnahmen über den meisten subtropischen Landregionen (um bis zu 20% im A1B-Szenario bis 2100) wahrscheinlich sind. Dies bedeutet eine Fortführung der beobachteten Muster in den aktuellen Trends“ (IPCC 2007a).

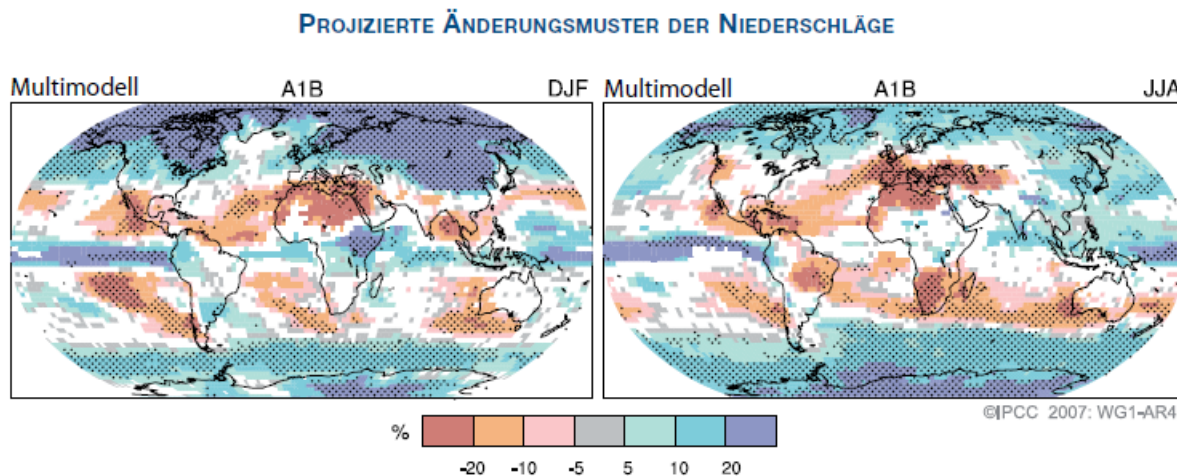


Abbildung 13: Relative Änderungen der Niederschläge (in Prozent) für den Zeitraum 2090–2099 im Vergleich zu 1980–1999. Die Werte sind Multimodell-Mittel, basierend auf dem SRES-A1B-Szenario für Dezember bis Februar (links) und Juni bis August (rechts). Flächen, für welche weniger als 66% der Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderung übereinstimmen, sind weiss; solche, für welche mehr als 90% der Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderungen übereinstimmen, sind punktiert (IPCC 2007a).

Weiter werden auch **extreme Wetterereignisse** wie Hitzewellen und Starkniederschlags-Ereignisse sehr wahrscheinlich weiterhin zunehmen. Zudem ist auch das vermehrte Auftreten von tropischen Wirbelstürmen wahrscheinlich (IPCC 2007a).

“Es wird eine Abnahme der **Schneebedeckung** vorausgesagt. Die Projektionen zeigen weit verbreitete Zunahmen der Auftautiefe in den meisten Permafrostregionen. Es wird für alle SRES-Szenarien eine Schrumpfung des Meereises sowohl in der Arktis als auch der Antarktis vorausgesagt. (IPCC 2007a)”

Durch den Temperaturanstieg dehnt sich das Wasser aus und zusammen mit der erhöhten Schnee- und Eisschmelzung führt dies zu einem **Anstieg des Meeresspiegels**. Schmilzt das grönländische Eisschild würde dies zu einem Meeresspiegelanstieg von rund 7m führen (IPCC 2007a).

3.4.3. Klimavorhersagen für die Schweiz

Gemäss IPCC ist für die Schweiz ein **Temperaturanstieg** von 2.1 °C bis zum Jahr 2050 zu rechnen (verglichen mit 1990). Wobei in den Sommermonaten mit einer stärkeren Erwärmung zu rechnen ist.

Weiter wird davon ausgegangen, dass im Sommer die mediterrane Trockenheit wahrscheinlich den Alpenraum und Zentraleuropa einschliessen wird und die Sommerniederschläge um rund 20% abnehmen. Die **Niederschläge** dürften im Winter hingegen um etwa 10% zunehmen.

Die **Schneefallgrenze** steigt tendenziell an, die Gletscher bilden sich zurück und die Schneeschmelze setzt früher ein. Dadurch verändert sich die Wasserführung der Flüsse, was häufiger zu Hoch- und Niederwasserperioden führen dürfte.

Auch ist mit einem Anstieg von **extremen Wetterereignissen** (Hitzewellen, Stürme, Starkregen und Überschwemmungen) zu rechnen.

3.5. Was sind die Folgen vom Klimawandel?

Im Folgenden werden die wichtigsten Auswirkungen der projizierten Klimaänderungen (meist bezogen auf Temperatur, Meeresspiegel und Niederschlagsänderungen) für Mensch und Umwelt dargestellt.

Die **Süsswasserverfügbarkeit** wird sich in zahlreichen Erdregionen verändern, was Folgen für die Trinkwasserversorgung, die Landwirtschaft, die Energieerzeugung und für natürliche Ökosysteme mit sich bringt. Während in nördlichen Breitengraden sowie in feuchten tropischen Gebieten mit mehr Niederschlägen (Zunahme von 10 bis 40 %) zu rechnen ist, werden trockene Gebiete noch trockener (Abnahme von 10% bis 30%). Dabei werden sich die von Dürre betroffenen Gebiete weiter ausweiten, was die Nahrungsmittelproduktion und die Trinkwasserversorgung stark beeinträchtigen wird. Es ist anzunehmen, dass die Gletscher und die Wasserverfügbarkeit in Regionen die von Schmelzwasser versorgt werden (1 Milliarde betroffene Menschen), abnimmt.

„Es ist wahrscheinlich, dass die Widerstandsfähigkeit zahlreicher **Ökosysteme** in diesem Jahrhundert aufgrund einer noch nie da gewesenen Kombination von Klimaänderung, damit verbundenen Störungen (z.B. Überschwemmungen, Dürren, Flächenbrände, Insektenplagen, Ozeanversauerung) und anderen Antriebselementen des globalen Wandels (z.B. Landnutzungsänderungen, Verschmutzung, Übernutzung von Ressourcen) überschritten wird. Wenn der Anstieg der mittleren globalen Temperatur 1.5 bis 2.5°C überschreitet, ist ein erhöhtes Aussterberisiko für ca. 20 bis 30 % der bisher untersuchten Tier- und Pflanzenarten wahrscheinlich.“(IPCCb 2007).

Bei einem Temperaturanstieg von 1 bis 3 °C steigt das **Ernteertragspotential** in mittleren bis hohen Breiten. In niedrigen Breiten, insbesondere saisonal trockenen und Tropengebieten, wird für das Ernteertragspotenzial eine Abnahme selbst bei geringem Anstieg der lokalen Temperatur (1-2°C) projiziert (IPCCb 2007). Ein Ernteertragsrückgang lässt die Nahrungsmittelpreise steigen, was vor allem die ärmsten Menschen existenziell treffen wird.

Ein Ansteigen des Meeresspiegels birgt für **Küstenregionen** das Risiko der Küstenerosion, der Versalzung von Grundwasser und von Überflutungen. Von den Risiken direkt betroffen sind über 40 Prozent der heutigen Millionenstädte, da sie nur knapp über oder unter dem Meeresspiegel liegen.

Die Klimaänderungen werden sich voraussichtlich auch auf den **Gesundheitszustand** von Millionen von Menschen auswirken. Dabei spielen vor allem die wachsende Unterernährung und deren Folgeerkrankungen, die erhöhte Sterblichkeit sowie Erkrankungen als Folgen von extremen Wetterereignissen (Hitzewellen, Überschwemmungen, Stürmen, Bränden und Dürren) und die veränderte räumliche Verbreitung von Krankheitserregern (z.B. Malaria) eine wichtige Rolle.

Die Auswirkungen einer Klimaerwärmung birgt auch Risiken für die **Wirtschaft** (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Wirtschaftszweige (Liedtke, Welfens et al. 2008).

WIRTSCHAFTSSEKTOR	MÖGLICHE AUSWIRKUNGEN
Land- und Forstwirtschaft	• Anstieg von Ernteverlusten • Anstieg von Waldbränden • Veränderte Anbaumethoden • Zunahme von Wassermangel • Zunahme von Schädlingsverbreitungen
Tourismus	• Rückgang in Skigebieten • Anstieg in nördlichen Breiten • Anpassungsmaßnahmen an veränderte klimatische Bedingungen
Gesundheitswesen	• Zunahme von Krankheiten (z.B. Malaria) • Zunahme hitzebedingter Krankheiten/Todesfälle • Abnahme der Arbeitsproduktivität bei extremer Hitze • Vorsorgemaßnahmen
Energie	• Reduzierte Nachfrage nach Wärme • Gesteigerte Nachfrage nach Kühlung • Ölpreis steigt bei Angebotsverknappung durch klimatisches Extremereignis • Durch Wasserknappheit bedingtes unzureichendes Kühlwasser für konventionelle bzw. Atomkraftwerke • Zusätzlicher Einsatz CO₂-freier Energietechnik
Verkehr	• Zunahme an Infrastrukturschäden • Zusätzlicher Einsatz CO₂-freier Antriebstechniken
Baugewerbe	• Schäden an Immobilien • Zunahme der Wirtschaftsleistung durch Neubauten

Gemäss dem Report von Stern „The Economics of Climate Change. The Stern Review“ werden sich die jährlich anfallenden **Kosten** - verursacht durch die Klimaänderung - auf 5 bis 20 % des weltweiten Bruttoinlandsprodukt belaufen, falls nicht in den Klimaschutz investiert wird (Stern 2007). Die Berechnungen von Stern sind mit erheblichen Unsicherheiten verbunden und hängen stark von den berücksichtigten Schäden und deren Monetarisierung ab. Insgesamt kommt die Studie zum Schluss, dass die Mitigationskosten tragbar sind und eine Verzögerung von klimafreundlichen Massnahmen gefährlich und viel teurer ist.

Anderer Ansicht sind die sogenannten Folgeskeptiker, welche die globale Erwärmung verharmlosen oder sie gar für günstig halten. Klar sind die durch die Klimaerwärmung mögliche Ausbreitung der Landwirtschaft in höheren Breiten, höhere Abflussmengen nach Starkniederschlägen oder eine Erhöhung des Meeresspiegels nicht per se schlecht. Das Problem dabei ist vielmehr, dass die Gesellschaft und die Ökosysteme nicht daran angepasst sind (viele Städte unter dem Meeresspiegel und unsere Flussläufe sind stark begradigt) und somit werden rasche Änderungen überwiegend negative Auswirkungen haben.

Generell wird der Klimawandel Afrika am härtesten treffen, da die erwarteten klimatischen Veränderungen in Afrika schneller und intensiver eintreten als im weltweiten Durchschnitt und zu-

dem die **Verwundbarkeit** durch die limitierten **Anpassungskapazitäten** gross ist. Vor allem die Landwirtschaft, die in Afrika einen grossen ökonomischen und sozialen Stellenwert hat, wird durch klimatische Veränderungen (z.B. Niederschlagsrückgang und längere Trockenperioden) stark betroffen sein.

Um eine „gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems“ zu vermeiden, wurde das 2-Grad-Ziel formuliert. Das politisch festgelegte Ziel wurde basierend auf den wissenschaftlichen Grundlagen formuliert und beruht darauf, dass eine langfristige Erderwärmung um maximal 2° C gegenüber der vorindustriellen Zeit ein noch knapp tragbarer Wert ist. Um dies zu erreichen, dürften die gesamten CO₂-Emissionen im Zeitraum von 2000 bis 2050 nicht über 1.000 Mrd. Tonnen steigen. Rund ein Viertel der Menge (234 Mrd. Tonnen CO₂) wurde jedoch bereits in dem kurzen Zeitraum von 2000- 2006 emittiert.

3.6. Welche Handlungsoptionen haben wir?

In den vorherigen Kapiteln wurden wissenschaftliche Erkenntnisse zu den möglichen Auswirkungen der Klimaänderung beschrieben und wir haben gesehen, dass der aktive Klimaschutz sozio-ökonomisch und ökologisch sinnvoll ist. Im Folgenden wird ein kurzer Abriss der Entwicklung des globalen Klimaschutzes gegeben und aufgezeigt, welche Instrumente die Politik sowie auch wir haben, um die Klimaerwärmung zu reduzieren.

Die Klimaerwärmung aktiv abzuschwächen reicht jedoch nicht. Denn, auch wenn die atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen auf dem Wert von 2000 blieben, werden die Emissionen der Vergangenheit eine nicht zu vermeidende Erwärmung (um weitere ca. 0,6° C bis zum Ende des Jahrhunderts, bezogen auf 1980-1999) bewirken (IPCC 2007b). Sprich, nebst Handlungen, welche die Klimaerwärmung abschwächen (Mitigation), müssen wir uns gezwungenermassen auch an die Klimaerwärmung anpassen (Adaption).

3.6.1. Mitigation und Adaption an den Klimawandel

Die gesamte Herausforderung der Emissionsminderung kann nicht von einem Sektor oder mit einer Technologie alleine angegangen werden. Alle bewerteten Sektoren tragen zum Gesamtergebnis bei. Die möglichen Massnahmen reichen von der Förderung von erneuerbaren Energien, der Steigerung der Effizienz von Technologien bis hin zur Verminderung des Verbrauches durch Verhaltensänderungen (Suffizienz).

Die Schlüsseltechnologien zur Emissionsminderung für die jeweiligen Sektoren sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Emissionsminderung nach Sektoren (Liedtke, Welfens et al. 2008).

Sektor	Schlüsseltechnologien und Praktiken aktuell auf dem Markt	nach Projektionen bis 2030 auf dem Markt
Energieversorgung	• größere Versorgungs- und Verteilungseffizienz; • Brennstoffwechsel von Kohle zu Gas; • Kernenergie; • erneuerbare Energien für Wärme und Strom; • Kraft-Wärme-Kopplung; • frühe Anwendung von CO₂-Abtrennung und -speicherung (CCS).	• CO₂-Abscheidung und -speicherung (CCS) für gas-, biomasse- oder kohlebetriebene Stromkraftwerke; • weiterentwickelte Kernenergie; • weiterentwickelte erneuerbare Energien einschließlich Gezeiten- und Wellenkraftwerke, konzentrierte Solarenergie und solare Photovoltaik.
Verkehr	• treibstoffeffizientere Fahrzeuge; • Hybridfahrzeuge; • sauberere Dieselnutzung; • Biotreibstoffe; • modale Verlagerung aus dem Straßenverkehr auf die Schiene und öffentliche Verkehrssysteme; • schnelle öffentliche Verkehrssysteme, nicht motorisierter Verkehr; • Landnutzung; • Verkehrsplanung.	• Biotreibstoffe zweiter Generation; • effizientere Flugzeuge; • weiterentwickelte Elektro- und Hybridfahrzeuge mit stärkeren und zuverlässigeren Batterien.
Gebäude	• effiziente Beleuchtung auch durch Tageslicht; • effizientere Elektrogeräte und Heiz- und Kühlvorrichtungen; • weiterentwickelte Kochherde; • bessere Wärmedämmung; • Solararchitektur für passive und aktive Heizung und Kühlung; • natürliche Kühlflüssigkeiten; • Rückgewinnung und Wiederverwertung von fluorierten Gasen.	• integriertes Design von Geschäftsgebäuden einschließlich Technologien wie z.B. intelligente Zähler, die rückmelden und überwachen; • in Gebäuden integrierter Solarstrom aus Photovoltaik.
Industrie	• effizientere elektrische Endverbraucherausrüstung; • Wärme- und Stromrückgewinnung; • Materialwiederverwertung und -ersatz; • Regelung der Emissionsminderung von Nicht-CO₂-Gasen sowie ein breites Spektrum an prozessspezifischen Technologien.	• weiterentwickelte Energieeffizienz; • CCS bei Zement-, Ammoniak- und Eisenherstellung; inerte Elektroden für die Aluminiumherstellung.
Landwirtschaft	• verbessertes Management von Anbau- und Weidenflächen zur Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung im Boden; • Renaturierung von kultivierten Torfböden und anderen degradierten Böden; • verbesserte Reisanbautechniken sowie Vieh- und Düngemanagement zur Verringerung von Methanemissionen (CH₄-Emissionen) • verbesserte Stickstoffdüngung zur Verringerung von Stickstoffdioxidemissionen (N₂O-Emissionen); • gezielter Anbau von Energiepflanzen als Ersatz fossiler Brennstoffe; • erhöhte Energieeffizienz.	• Verbesserung der Ernteerträge.
Forstwirtschaft	• (Wieder-)Aufforstung; • Forstmanagement; • reduzierte Entwaldung; • Regulierung von Produkten aus geschlagenem Holz; • Nutzung von Forstprodukten für Bioenergie als Ersatz fossiler Brennstoffe.	• Weiterentwicklung von Baumarten zur Steigerung der Biomassenproduktivität und Kohlendioxidaufnahme; • verbesserte Fernerkundungstechnologien für die Analyse des Potenzials zur Kohlendioxidaufnahme durch Vegetation/Boden und für die Kartierung von Landnutzungsänderungen.
Abfall	• Rückgewinnung von Methan aus Deponien; • Müllverbrennung mit Energierückgewinnung; • Kompostierung organischer Abfälle; • kontrollierte Abwasserbehandlung; • Recycling und Abfallminimierung.	• Methanoxidationsschicht (Biocover) und Biofilter für optimierte CH₄-Oxidation.

Die in der Tabelle 2 aufgeführten Massnahmen knüpfen vor allem bei der Förderung von erneuerbaren Energien und effizienten Technologien an. Jedoch wird meist nur ein Teil des dadurch erreichten Einsparpotentials verwirklicht, da solche Massnahmen oft auch zu einem erhöhten Verbrauch führen (Rebound-Effekt). Dabei werden zwischen direkten Rebound-Effekten (eine Energiedienstleistung, die effizienter angeboten wird, wird dadurch billiger und somit stärker nachgefragt) und indirekten Rebound-Effekten unterschieden (wer dank Effizienzsteigerung Energie und damit Geld spart, gibt das Geld für anderes aus, das ebenfalls Energie verbraucht).

Somit werden wir nicht um eine Anpassung unseres Lebensstils und unserer Verhaltensmuster kommen, falls wir die Klimaerwärmung in einem „akzeptablen“ Rahmen halten wollen. Wobei die Verhaltensänderung ein langwieriger Prozess ist, der jedoch durch eine Sensibilisierung mittels Weiterbildungen, Schulungen und Kampagnen aktiv gefördert werden kann.

3.6.2. Was unternimmt die Politik?

Internationale Klimapolitik:

Der Klimawandel ist eine Herausforderung von globalem Ausmass, der ein breiter internationaler Kooperationsprozess erfordert. Nach langen Verhandlungen wurde 1992 in Rio de Janeiro ein erstes internationales Übereinkommen unterzeichnet: die Klimakonvention (**UNFCCC** - United Nations Framework Convention on Climate Change). Es ging im Wesentlichen um die Definition eines gemeinsamen Ziels, wobei die Erarbeitung des Instrumentariums zum Erreichen des Ziels weiterer Verhandlungen bedarf. Dabei werden in sogenannten **IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change) Berichten die Ergebnisse der Forschung bezüglich der anthropogenen Auswirkungen auf das Klimasystem der Abschätzungen der Folgen und der möglichen Mitigations- und Adaptionsstrategien zusammengefasst.

Ein Meilenstein wurde mit dem **Kyoto-Protokoll** gesetzt, bei dem sich die Industriestaaten verpflichten die Treibhausgasemissionen bis 2012 um 5.2% gegenüber 1990 zu reduzieren. Ein Jahr vor Ablauf der Frist sieht es jedoch so aus, dass viele Staaten das Abkommen nicht erfüllen werden. Nichts desto trotz einigten sich jüngst Vertreter von 200 Staaten bei der Klimakonferenz in **Durban** auf ein Nachfolgeabkommen für das Kyoto-Protokoll. Bis 2015 soll ein Weltklimavertrag ausgearbeitet werden, wobei auch Länder wie die USA und China verbindliche Ziele mittragen sollen.

Schweizer Klimapolitik:

Auch die Schweiz hat sich mit der Unterzeichnung der UNO-Klimakonvention und des Kyoto-Protokolls zu einem international koordinierten Klimaschutz verpflichtet. Mit dem 1999 erlassenen **CO₂-Gesetz** will die Schweiz den CO₂-Ausstoss im Zeitraum 2008 bis 2012 um durchschnittlich 10 Prozent (gegenüber 1990) vermindern, wobei die Ziele mittels Emissionsvermindierungen im Ausland und freiwilligen Massnahmen seitens der Wirtschaft erreicht werden sollen. Da durch die freiwilligen Massnahmen alleine die Ziele nicht erreicht werden konnten, wurde 2008 eine CO₂-Abgabe auf fossile Brennstoffe eingeführt. Bei der Abgabe handelt es sich um eine Lenkungsabgabe, bei der die Einnahmen an die Bevölkerung rückverteilt oder zur Förderung erneuerbarer Energie oder der Sanierung von Gebäuden ausgegeben werden.

Bis 2020 sollen die emittierten Treibhausgase um mindestens 20 Prozent und bis 2050 um 50 Prozent reduziert werden (gemessen am Stand von 1990). Dabei lehnt sich die Schweiz an die EU Richtlinien (EC 2008).

Politische Massnahmen

Um Anreize für Emissionsminderungen zu schaffen, stehen den nationalen Regierungen verschiedene Massnahmen und Instrumente zur Verfügung. Die wichtigsten Massnahmen und Instrumente sowie deren Einschränkungen wurden von IPCC zusammengestellt (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Ausgewählte sektorale Politiken, Massnahmen und Instrumente, die sich im jeweiligen Sektor in mindestens einigen nationalen Fällen als umweltwirksam erwiesen haben (IPCC 2007d).

Sektor	Politiken, ^{a)} Massnahmen und Instrumente, die sich als umweltwirksam erwiesen haben	Wesentliche Einschränkungen oder Möglichkeiten
Energieversorgung [4.5]	Verringerung von Subventionen für fossile Brennstoffe Steuern oder Kohlendioxidabgaben auf fossile Brennstoffe	Widerstand durch Interessensgruppen aufgrund bestehender Rechte könnte die Umsetzung erschweren.
	Einspeisevergütungen für Erneuerbare-Energien-Technologien Quoten für erneuerbaren Energien Subventionen für Produzenten	Können angemessen sein, um Märkte für Niedrigemissionstechnologien zu schaffen
Verkehr [5.5]	Verpflichtende Standards für Treibstoffverbrauch, Biotreibstoffbeimischung und CO ₂ -Standards für den Straßenverkehr	Unvollständige Erfassung der Fahrzeugflotte kann die Effektivität begrenzen
	Steuern auf Fahrzeugkauf, Zulassung, Nutzung und Treibstoffe, Straßen- und Parkgebühren	Effektivität kann mit höheren Einkommen sinken
	Mobilitätsbedürfnisse durch Flächennutzungsregelungen und Infrastrukturplanung beeinflussen Investitionen in attraktive öffentliche Verkehrssysteme und nicht-motorisierte Verkehrsformen	Besonders geeignet für Länder, die gerade ihre Verkehrssysteme aufbauen
Gebäude [6.6]	Gerätestandards und Kennzeichnung Gebäudestandards und Zertifizierung	Regelmäßige Überarbeitung der Standards nötig Attraktiv für neue Gebäude. Durchsetzung kann schwierig sein.
	Programme zur Nachfragesteuerung (demand-side management) Vorbildfunktion der öffentlichen Hand, einschl. der Beschaffung (Eco-Procurement) Anreize für Energiedienstleistungsunternehmen (ESCOs)	Regulierung notwendig, so dass Versorgungsunternehmen profitieren können. Regierungseinkäufe können die Nachfrage nach energieeffizienten Produkten steigern. Erfolgskriterium: Zugang zu Drittmitteln
Industrie [7.9]	Bereitstellung von Informationen für einen Leistungsvergleich (benchmark information) Leistungsstandards Subventionen, Steuervergünstigungen	Können angebracht sein, um die Etablierung der Technologien anzuregen. Beständigkeit der nationalen Politik ist wichtig im Hinblick auf internationale Wettbewerbsfähigkeit.
	Handelbare Zertifikate	Vorhersehbare Zuteilungsmechanismen und stabile Preissignale sind wichtig für Investitionen.
	Freiwillige Vereinbarungen	Erfolgskriterien sind unter anderem: klare Ziele, ein Referenzszenario, Einbeziehung Dritter in Entwurf und Begutachtung und formelle Überwachungsmaßnahmen, enge Zusammenarbeit zwischen Regierung und Industrie.
Landwirtschaft [8.6, 8.7, 8.8]	Finanzielle Anreize und Regelungen für verbesserte Bodenbewirtschaftung, für die Erhaltung des Bodenkohlenstoffgehalts, für Effizienz in Düngernutzung und Bewässerung	Kann Synergie mit nachhaltiger Entwicklung und mit Verringerung der Verwundbarkeit gegenüber der Klimaänderung fördern und dadurch Hemmnisse gegen die Umsetzung überwinden.
Forstwirtschaft [9.6]	Finanzielle Anreize (national und international) für eine Vergrößerung der Waldfläche, eine Verringerung der Entwaldung und die Erhaltung und Bewirtschaftung von Wäldern	Einschränkungen sind unter anderem der Mangel an Investitionskapital und Grundeigentumsfragen. Kann die Armutsbekämpfung unterstützen.
	Landnutzungsregelungen und deren Durchsetzung	
Abfallwirtschaft [10.5]	Finanzielle Anreize für verbesserte Abfall- und Abwasserwirtschaft	Können die Verbreitung von Technologien anregen.
	Anreize oder Verpflichtungen zur Nutzung erneuerbaren Energien	Lokale Verfügbarkeit von Brennstoff zu niedrigen Preisen
	Abfallwirtschaftsvorschriften	Am wirkungsvollsten auf nationaler Ebene mit Durchsetzungsstrategien umgesetzt

3.6.3. Was können wir tun?

Gemäss IPCC ist es sehr wahrscheinlich, dass der Mensch die treibende Kraft der Klimaerwärmung ist. Jeder von uns hinterlässt durch die nachgefragten Produkte und Dienstleistungen einen Klima-Fussabdruck. Private Haushalte tragen rund 23 Prozent zur total emittierten CO₂ Menge bei, besonders durch den hohen Energieverbrauch. Trotz der immer effizienter werdenden Technologien steigt der Pro-Kopf Verbrauch an natürlichen Ressourcen nicht nur in Entwicklungsländern, sondern auch in entwickelten Ländern. Gründe dafür sind unter anderem die steigende Wohnfläche pro Person, die erhöhte Mobilität, der ansteigende Stromverbrauch und der Güterkonsum. Hierbei haben die privaten Haushalte durch die Wahl von klimafreundlichen Produkten und Dienstleistungen sowie durch Suffizienz ein erhebliches Einsparungspotential.

Um Sparmassnahmen gezielt vornehmen zu können, sollte der aktuelle Verbrauch bekannt sein. Der eigene Klimarucksack lässt sich mithilfe von vereinfachten und kostenlosen CO₂-Rechnern (z.B. <http://co2-rechner.wwf.de>) abschätzen. Den Onlinerechnern liegt dabei eine Datenbank zugrunde, bei der die CO₂ Emissionen der jeweiligen Dienstleistungen und Produkten abgelegt sind. Doch woher stammen diese Daten? Die CO₂-Emissionen von Dienstleistungen und Produkten werden meist basierend auf der Lebenszyklus-Perspektive berechnet. Dabei werden die Emissionen, die während der Rohstoffförderung, der Produktion, der Nutzung und der Entsorgung anfallen aufsummiert. Es gibt nun verschiedene Ansätze die Emissionen über den ganzen Lebenszyklus von Produkten und Dienstleistungen zu berechnen, die sich vor allem in der Datenqualität, der Wahl der Systemgrenzen und dem Detaillierungsgrad unterscheiden.

Ist die persönliche CO₂-Bilanz berechnet und richtig interpretiert worden gilt es nun adaptierte und effiziente Massnahmen zu treffen. In Tabelle 4 ist eine Auswahl an möglichen Klimamassnahmen für den persönlichen Haushalt aufgelistet.

Tabelle 4: Tipps für den Klimaschutz – heute – morgen – übermorgen (kg CO₂ Emissionen pro Jahr und Person, typische Werte) aus (Liedtke, Welfens et al. 2008).

Schon heute tun	Morgen erledigen	Für übermorgen
Warmwasserhahn beim Zähneputzen zudrehen 3 kg	Tropfende Wasserhähne reparieren 20 kg	Energiesparkühlschrank (A++) kaufen 100 kg
Zähne nicht elektrisch putzen 7 kg	Kühlschrank an einen kühlen Ort stellen 150 kg	1.000 km im Jahr Bahn statt Auto fahren 100 kg
Nur wirklich wichtige Dokumente drucken 7 kg	Wassersparenden Brausekopf einbauen 230 kg	E-Herd gegen Gasherd austauschen 250 kg
Eine Energiesparlampe nutzen 22 kg	Klimaanlage täglich vier Stunden ausschalten 300 kg	Thermostat für Heizanlage einbauen 430 kg
Nur so viel Teewasser kochen wie nötig 25 kg	Regionale Produkte kaufen (Transport) 300 kg	Solarzellen aufs Dach montieren 500 kg
Nur volle Waschmaschinen anstellen 45 kg	Überall Energiesparlampen eindrehen 330 kg	Wärmeschutzfenster einbauen 500 kg
10% der Jahresstrecke mit 90 statt 110 km/h fahren 55 kg	Vorausschauend Auto fahren, früher schalten 330 kg	Hauswände, Decken und Böden dämmen 900 kg
Reifendruck kontrollieren und optimieren 140 kg	Türen und Fenster besser abdichten 400 kg	Haus auf Niedrigenergiestandard umrüsten 3.600 kg
Wäsche an der Luft trocknen lassen 200 kg	Wand hinter den Heizkörpern isolieren 430 kg	Auf einen Ökostromtarif umsteigen 1.930 kg
Temperatur im Haus um ein Grad drosseln 300 kg	Einen Kurztrip streichen (hier: Köln - Mallorca) 720 kg	Eine Fernreise streichen (hier: Frankfurt – New York) 4.000 kg

4. Formulierung von Lernzielen

4.1. Leitidee

„Ein Weiter-So gibt es nicht. Der Klimaschutz ist die größte Herausforderung des 21. Jahrhunderts.“ Das Zitat von Angela Merkel unterstreicht die gegenwärtige Brisanz des Themas „Klimawandel“, dass die gesamte Menschheit betrifft – unabhängig davon wie viel jeder einzelne dazu beiträgt. Doch wer und was sind eigentlich die Ursachen der schleichenden Bedrohung? Welche konkreten Auswirkungen hat der Klimawandel global und in der Schweiz? Was können wir dagegen unternehmen und wie können wir uns darauf vorbereiten?

Die Studentinnen und Studierenden des Studienganges „Erneuerbare Energien und Umwelttechnik“ sollen dabei im Rahmen der Unterrichtseinheit „Klimawandel – Ursachen, Folgen und Handlungsoptionen“ die wissenschaftlichen Grundlagen über die Funktionsweise des Klimasystems, sowie über die Ursachen, die Entwicklung und die Auswirkungen des Klimawandels erarbeiten. Darüber hinaus werden verschiedene technische Massnahmen zum Klimaschutz und klimafreundliche Handlungsoptionen für den Privathaushalt erarbeitet.

4.2. Dispositionsziele

Die SuS verstehen die Zusammenhänge der Ursachen und Folgen der Klimaerwärmung und können die klimatischen Auswirkungen von erneuerbaren Energien und der Umwelttechnik grob abschätzen. Darüber hinaus soll das erworbene Wissen nicht nur bei der Beurteilung von klimafreundlichen Technologien helfen, sondern auch zur Reflexion über den eigenen Lebensstil anregen. Dabei spielen bei dem Unterricht nicht nur fachliche, sondern auch emotionale und handlungsorientierte Aspekte eine entscheidende Rolle. Durch die Förderung einer holistischen und interdisziplinär verankerten Weltanschauung werden die SuS in der Fähigkeit der aktiven und solidarischen Zukunftsgestaltung gefördert.

4.3. Operationalisierte Lernziele

- Die Lernenden sind in der Lage, die Unterschiede zwischen den Begriffen „Wetter“ und „Klima“ zu erklären (K2).
- Die Lernenden können das Klimasystem beschreiben (K2) und die klimarelevanten Mechanismen der Subsphären ableiten (K4).
- Die Lernenden können die Unterschiede zwischen instrumentellen Messung und paläoklimatischen Approximationen der Klimaänderung erläutern (K2).
- Die Lernenden sind in der Lage, die globalen Veränderungen der Temperatur, des Niederschlags, der Schneebedeckung und des globalen Meeresspiegels zu beschreiben (K2).
- Die Lernenden sind in der Lage, die Unsicherheiten der Messungen der Klimaänderungen abzuschätzen und können die Aussagekraft der Forschungsergebnisse richtig beurteilen (K6).
- Die Lernenden können die einzelnen Komponenten der globalen Energiebilanz erläutern (K2).

- Die Lernenden können die wichtigsten natürlichen und anthropogenen Einflussfaktoren der globalen Energiebilanz beschreiben (K2).
- Die Lernenden können beurteilen, inwiefern der beobachtete Klimawandel auf natürliche bzw. auf menschliche Einflussfaktoren zurückzuführen ist (K6).
- Die Lernenden können die Grundzüge eines Klimamodells beschreiben (K2) und können den Temperaturverlauf der verschiedenen IPCC Klimaszenarien richtig interpretieren (K2).
- Die Lernenden können die Klimavorhersagen für die Schweiz aufzählen (K1).
- Die Lernenden können je zwei Beispiele für die Auswirkungen der Klimaerwärmung pro Sektor nennen (K1).
- Die Lernenden können die Folgen des erwarteten Klimawandels für ein beliebiges Land ableiten (K3).
- Die Lernenden können die Argumentationslinien der Klimaskeptiker beschreiben (K2) und können basierend auf wissenschaftlichen Fakten eine Gegenargumentation formulieren (K5).
- Die Lernenden können die wichtigsten Geschehnisse der internationalen und schweizerischen Klimapolitik nennen (K1) und können die Relevanz der wichtigsten Klimakonventionen und der klimarelevanten Schweizer Gesetze beschreiben (K2).
- Die Lernenden können nationale klimapolitische Massnahmen selber entwerfen (K5) und deren Wirksamkeit und Hindernisse grob beurteilen (K6).
- Die Lernenden können die klimarelevanten Schweizergesetze in Bezug auf deren Wirksamkeit zur Erreichung der Klimaziele beurteilen (K6).
- Die Lernenden können verschiedene technologische Strategien die zur Verminderung der Treibhausgasemissionen beitragen nennen (K1), deren Funktionsweise beschreiben (K2).
- Die Lernenden können das Konzept der Lebenszyklusbetrachtung in eigenen Worten beschreiben (K2) und können den Lebenszyklus von erneuerbaren Technologien selber erstellen (K3).
- Die Lernenden können den Rebound-Effekt erklären (K2) und können mögliche Rebound-Effekte von erneuerbaren Technologien selber abschätzen (K3).
- Die Lernenden können ihren persönlichen CO₂-Fussabdruck berechnen (K3) und sind in der Lage basierend darauf gezielte Handlungsoptionen zur Verringerung ihres CO₂-Fussabdrucks zu entwickeln (K5).
- Die Lernenden können die Zusammenhänge zwischen dem Fleischkonsum und den Auswirkungen auf das Klima formulieren (K5).

5. Didaktisch methodische Überlegungen

5.1. Begründung des didaktischen Aufbaus

Die Zusammenhänge des Klimawandels sind komplex und vielschichtig und es ist davon auszugehen, dass die Lernenden ein unvollständiges Vorwissen über die Mechanismen des Klimawandels, dessen Auswirkungen und Handlungsoptionen mit sich bringen. Nebst der komplexen Natur des Themas ist auch der Klima-Diskurs in den Medien und der Politik durch die Vermittlung von einseitigen und teils fehlerhaften Wissensbausteinen für die Bildung von lückenhaften Vorkenntnissen verantwortlich. Dies fördert die Verwechslung von Fachbegriffen und die Bildung von Fehlkzepten, bei denen typischerweise die Beziehung zwischen Ursachen und Folgen von Umweltproblemen falsch interpretiert wird (Uherek 2008; Dupigny-Giroux 2010). Fehlkzepten im Bereich des Klimawandels sind z. B., dass Treibhausgase als kanzerogen eingestuft werden, dass die Ozonschicht eine wichtige Rolle bei der Klimaerwärmung spielt oder dass die Klimaerwärmung rein anthropogenen Ursprungs ist (Uherek 2008).

Die Unterrichtseinheit zielt darauf ab, die SuS bei ihren Alltagsvorstellungen (inkl. Fehlkzepten) abzuholen und diese durch wissenschaftlich fundierte Konzepte zu ersetzen. Der Unterrichtsinhalt wird sachlogisch in Einzelteile zerlegt und über die 10 Unterrichtseinheiten vermittelt. Als erstes gilt es jedoch die SuS für das Unterrichtsthema zu motivieren. Dabei muss beachtet werden, dass einige SuS durch die grosse mediale Präsenz des Themas ihr Interesse daran übersättigt sind. So kommt eine englische Studie zum Schluss, dass rund ein Drittel der Umweltstudierenden „sick of hearing about climate change“ sind (Robinson 2011). Umso mehr spielt das Aufzeigen der gegenwärtigen und zukünftigen Relevanz des Themas für die SuS im Speziellen und die Menschheit im Allgemeinen eine entscheidende Rolle.

Nachdem den SuS die Gegenwarts- und die Zukunftsbedeutung des Themas, die Ziele sowie der Ablauf des Unterrichts aufgezeigt wurden, wird der Begriff „Klima“ eingeführt und auf die Unterschiede zum Begriff „Wetter“ eingegangen. Als weitere, für das Verständnis des Klimawandels unerlässliche Grundlage, werden die Charakteristik und die Funktionsweise des Klimasystems vertieft. Studien haben gezeigt, dass gerade europäische Schüler ein vertieftes Wissen über Migrationsstrategien (wie z.B. die Förderung von erneuerbaren Energien) besitzen, jedoch das Verständnis über die Atmosphäre und das Klimasystem unvollständig ist (Uherek 2008). Deshalb ist die Vertiefung mit dem Klimabegriff und dem Konzept des Klimasystems von grundlegender Bedeutung, wobei versucht wird, das Wissen vor dem Hintergrund des bereits Gelernten (beinhaltet auch Fehlkzepten) anzueignen. In einem nächsten Schritt wird die historische Entwicklung des Klimas thematisiert, bei der zwischen instrumentalen Messungen und paläoklimatischen Ansätzen unterschieden wird. Des Weiteren werden die natürlichen und anthropogenen Ursachen der Klimaerwärmung und die dazu grundlegenden Mechanismen aufgezeigt. Dieser erste Unterrichtsteil zielt vor allem auf die Wissensvermittlung ab und stützt sich stark auf die wissenschaftlichen Ergebnisse der IPCC Berichte. Nebst den fachlichen Aspekten sollen die SuS auch die Fähigkeit der kritischen Interpretation von wissenschaftlichen Texten und Abbildungen erwerben. Zudem werden im Rahmen der Unterrichtseinheit „Klimaskepsis“ durch die Infragestellung des bisher vermittelten Wissens die argumentative Kompetenz geschult und das angeeignete Wissen wird weiter vernetzt und gefestigt.

Basierend auf den Kenntnissen über die Funktionsweise des Klimasystems und über die treibenden Kräfte der Klimaänderung, werden die IPCC Modelle über die zukünftige Entwicklung des Klimas eingeführt. Dabei wird auch der Umgang mit dem Konzept der verschiedenen Unsicherheiten, bei dem nicht nur die SuS Mühe haben (Robinson 2011), gezielt adressiert. So werden explizit Ursachen und Aussagekraft der Unsicherheiten aufgezeigt und die interdisziplinären Erkenntnisse über die verschiedenen Unsicherheitsebenen vermittelt. Die Auswirkungen des Klimawandels auf Mensch und Umwelt sollen die SuS im Selbststudium erarbeiten und den Mitschülern präsentieren. Nebst den globalen Auswirkungen wird auch auf die Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz eingegangen. Durch die Einnahme von verschiedenen Perspektiven soll die Empathie und die Solidarität mit den direkt Betroffenen und dadurch auch die Reflexion der eigenen Leitbilder und die aktive Zukunftsgestaltung gefördert werden.

Gegen Ende der Unterrichtseinheit wird den SuS aufgezeigt, was national und international von der Politik zur Problemlösung unternommen wird. Auf der anderen Seite werden von den SuS selbst technische Massnahmen zum Klimaschutz, sowie Handlungsoptionen für den privaten Alltag, entworfen und beurteilt. Hierbei werden nicht nur das Umweltwissen und die Einstellung gefestigt, sondern auch im Alltag umsetzbare Handlungsoptionen vermittelt.

5.2. Begründung des methodischen Vorgehens

Zu Beginn jeder Unterrichtseinheit führt die Lehrperson die SuS in das jeweilige Thema der Stunde ein, wobei vor allem die Gegenwarts- und Zukunftsbedeutung des Themas ein zentrales Element darstellt. Dabei sollen die SuS nicht nur motiviert, sondern auch das Vorwissen aktiviert werden, um die kognitiven Anknüpfungen zu erleichtern. Auch ist die Vermittlung der Lernziele am Anfang essentiell. Eine klare Vermittlung der Lernziele des Unterrichts zeigt den SuS die relevanten Aspekte einer Problemstellung auf und ist somit eine Voraussetzung für erfolgreiches Lernen.

Im Folgenden wird das im Rahmen dieser Arbeit erarbeitete methodische Vorgehen beschrieben, begründet (Details siehe Kapitel 6) und im Hinblick auf mögliche Alternativen diskutiert.

Der Unterrichtsblock „Klimawandel – Ursachen, Folgen und Handlungsoptionen“ beginnt mit der lehrerzentrierten Vermittlung komplexer Konzepte sowie der Definition des Begriffssystems und endet mit schülerzentrierten Aktivitäten, bei welchen eher einfache jedoch auf den vermittelten komplexen Konzepten beruhende Aspekte bearbeitet werden. Dabei werden die Begriffe „Klima“ und „Wetter“ sowie die Funktionsweise des Klimasystems von der Lehrperson in Form eines Lehrvortrags vermittelt. Unter anderem wird auch das abstrakte Konzept des globalen Strahlungsantriebs durch die Lehrperson eingeführt. Die lehrerzentrierte Lehrmethode wurde gewählt, um viele relevante Information während der Doppelktion möglichst umfassend aufzeigen zu können. Dabei kann die Lehrperson durch die Vermittlung von wissenschaftlich abgestützten Konzepten die Bildung von Fehlkzepten eher vermeiden. Durch einen lehrerzentrierten Unterricht können zudem alle SuS gleichzeitig auf denselben Informationsstand gebracht werden. Dies zumindest theoretisch, wobei in der Praxis die unterschiedliche individuelle Auffassungsgabe der SuS zum Tragen kommt.

Der zu behandelnde Inhalt ist sachlogisch und „zerlegend aufgebaut“ (Meyer & Jank 2002). Vor allem wenn komplexere Konzepte behandelt werden sollen, scheint mir ein aufbauendes Vorgehen, bei dem die SuS schrittweise durch das komplexe Thema geführt werden, als geeignet. Dabei wird darauf geachtet, dass die einzelnen Schritte mehrmals repräsentiert (z.B. durch unter-

schiedliche Medien oder durch selbständiges Lernen im Rahmen der Hausaufgaben) und die Vernetzung der einzelnen Teile durch gezielte Massnahmen gefördert werden. Ein Beispiel dafür ist die vorgesehene Pro-Kontra-Debatte über die Entwicklung und die Ursachen des Klimawandels, wobei eine Argumentationslinie der Klimaskeptiker und der IPCC Wissenschaftler basierend auf den verschiedenen behandelten Elementen erarbeitet werden soll.

Es wäre durchaus denkbar, die SuS das Wissen über das Klimasystem, die Entwicklung des Klimas und dessen treibende Kräfte selber konstruieren zu lassen (z.B. durch eine Arbeitswerkstatt oder mittels Gruppenpuzzle), um die Schüleraktivität zu Beginn des Unterrichtsblockes zu erhöhen. Dies würde bewirken, dass die SuS das Dargebotene nicht nur reaktiv aufnehmen, sondern auch aktiv Wissen und Handlungskompetenzen aufbauen. Zudem hätte es den Vorteil, dass die individuellen Unterschiede der SuS stärker berücksichtigt würden.

Um die SuS dennoch aktiv in den Unterricht einzubinden und das frontal vermittelte Wissen zu festigen, werden im ersten Teil des Unterrichtsblockes vor allem Arbeitsblätter in Partner- oder Gruppenarbeit behandelt. Dadurch wenden die SuS die präsentierten Inhalte aktiv an und festigen und vernetzen somit das erlernte Wissen. Die Partnerarbeit soll die Schüleraktivität, die Schülerselbstständigkeit und das soziale Lernen fördern. Nachteil der Partnerarbeit ist jedoch, dass der lernstärkere Student dominieren kann und dass nicht alle Ergebnisse im Plenum präsentiert werden können. Weiter ist für eine erfolgreiche Partnerarbeit ein klarer Auftrag erforderlich. Dabei sollen die Lernziele klar vermittelt und die Fragestellungen herausfordernd sein, sich aber basierend auf dem behandelten Stoff beantworten lassen. Die Lehrperson sollte den Themenblock inhaltlich und zeitlich strukturieren, wobei es wichtig ist, Abweichungen vom Zeitplan zuzulassen, um auf die Bedürfnisse der Lernenden eingehen zu können. Nebst den Lernzielen und der Zeit, muss auch die Form und das sichtbare Resultat vermittelt werden (Gasser 2002).

Durch das Erstellen von Mindmaps im Klassenverband, wie es zum Beginn der Lektion über die Ursachen des Klimawandels vorgesehen ist, werden die SuS aktiviert und der Stand des Vorwissens erfasst. Auch im Rahmen der Hausarbeiten wird in Ergänzung zum vermittelten Wissen des Unterrichtes durch den selbständigen Erwerb von Wissen die aktive Auseinandersetzung gefördert, wobei auch den individuellen Wissensunterschieden und persönlichen Lernstrategien besser Rechnung getragen werden können. Solche Freiräume für das eigenständige Erarbeiten des Wissens sind gemäss Duit essentiell (Duit 2008). Wobei diese Freiräume nicht nur durch Hausaufgaben, sondern auch während dem Unterricht geboten werden (selbstständige Erarbeitung des Wissens mittels Arbeitstexten z.B. bei den paläoklimatischen Messmethoden).

Die Lektion über die Auswirkungen des Klimas auf die verschiedenen Sektoren beginnt schülerzentriert, wobei die SuS sich zu Hause selbständig einlesen und anschliessend die wichtigsten Auswirkungen für einen spezifischen Sektor im Klassenverband präsentieren. Dabei setzen sich die SuS aktiv mit dem Fachwissen auseinander und schulen zudem ihre Präsentationskompetenz, was in der Berufswelt nebst der Fach- und Methodenkompetenz von zentraler Bedeutung ist.

Eine weitere Methode, die im Zusammenhang mit der Bewertung der klimatischen Auswirkungen von Produkten und Dienstleistungen angewendet wird, ist das Fallbeispiel. Die Bearbeitung des Fallbeispiels (hier ausgewählte erneuerbare Energien) soll helfen, die theoretischen Grundlagen zu konkretisieren. Dabei erstellen die SuS den Lebenszyklus von verschiedenen erneuerbaren Energien und nehmen basierend darauf eine Bewertung vor. Das kontextualisierte Wissen hilft in diesem Fall den Grundgedanken der Lebenszyklusbetrachtung zu verdeutlichen. Die aktive mentale Verarbeitung, die sich hier in einer handelnden Verarbeitung vollzieht, fördert das verständ-

nisvolle Lernen. Weiter deckt sich dies auch mit dem Bildungsziel der Fachhochschule, wobei die SuS die Kompetenz erlangen „erneuerbare Energien und Umwelttechniken zu bewerten“.

Durch den Einsatz von verschiedenen Medien soll der Unterricht abwechslungsreich gestaltet und das Wissen auf unterschiedliche Art und Weise repräsentiert werden. Dabei werden die Lehrvorträge generell als PowerPoint Präsentationen gehalten, wobei die Folien auch als Hand-out abgegeben werden. Somit besitzen die SuS bereits die wichtigsten Informationen und sind nicht mit dem stetigen Festhalten des Gesagten beschäftigt, sondern können lediglich ergänzen. Wichtige Informationen wie die Lernziele und der Ablauf der Stunde werden an der Wandtafel oder auf dem Whiteboard notiert, damit diese während der ganzen Stunde sichtbar sind. Die Klassengespräche und Mindmaps werden ebenfalls an der Wandtafel festgehalten. Im Rahmen des Unterrichtes werden verschiedene Filmausschnitte gezeigt. Das Filmmaterial wird jeweils zu verschiedenen Zwecken eingesetzt, die von der Wissensvermittlung, der Festigung und der Vernetzung der Inhalte über die Motivation, bis zur Grundlage der distanzierten Reflexion reichen. Die spezifische Funktion der jeweiligen Filmsequenzen wird in Kapitel 6 weiter erläutert.

Im Rahmen des Unterrichts sind zwei Lernprotokolle (in der Mitte sowie am Ende der Unterrichtseinheit) vorgesehen, wobei die SuS ihre Erkenntnisse und ihre Lernprozesse reflektieren.

Um den Praxisbezug des Themas zu steigern und durch das „Erleben“ das vermittelte Wissen weiter zu festigen, sind auch Exkursionen oder andere Aktivitäten an ausserschulischen Lernorten denkbar. So gibt es zahlreiche Klimawanderungen oder Ausstellungen. Ein Beispiel ist der kommende Klimagarten der ETH⁵, wo in zwei Gewächshäusern die Vegetation bei der heutigen Temperatur und die Vegetation bei einer durchschnittlichen 2°C Erwärmung einander gegenübergestellt werden. Ziel dabei ist es, die Auswirkungen des Klimawandels „fassbar“ zu machen und somit die Bewusstseinsbildung über die schwer vorstellbaren Klimaauswirkungen zu erleichtern.

Die Dokumentation des Unterrichtsblockes setzt sich aus den ausgedruckten Lehrvorträgen zusammen, welche die Lernziele und die theoretischen Grundlagen beinhalten. Diese werden durch die Notizen der SuS sowie durch gezielte Angaben zu Vertiefungsmöglichkeiten (Fachtexte) ergänzt.

Zum Abschluss der Stunde klärt die Lehrperson die offenen Fragen, fasst die wichtigsten Erkenntnisse der Stunde zusammen und informiert über den Inhalt der kommenden Stunden. Alternativ können auch die SuS am Ende des Unterrichtes ihre Erkenntnisse zusammenfassen, wobei die Lehrperson falls nötig ergänzt und korrigiert.

⁵ Wird demnächst auf folgendem Portal angekündigt: <http://www.ethz.ch/news/treffpunkt/veranstaltungen>

6. Unterrichtsplanung

6.1. Lektion 1: Wie entsteht das Klima?

Lernziele

- Die Lernenden sind in der Lage, die Unterschiede zwischen den Begriffen „Wetter“ und „Klima“ zu erklären (K2).
- Die Lernenden können das Klimasystem beschreiben (K2) und die klimarelevanten Mechanismen der Subsphären ableiten (K4).

Didaktischer Gang und methodische Überlegungen

Die Lektion beginnt mit einem lehrerzentrierten Unterrichtseinstieg, wobei das Thema „Klimawandel – Ursachen, Folgen und Handlungsoptionen“ kurz vorgestellt wird. Dabei wird vor allem auf die Bedeutung von Klimawandel im Kontext der Förderung erneuerbarer Energien und der Umwelttechnik eingegangen, um den Bezug des Themas zu ihrer künftigen beruflichen Tätigkeit zu unterstreichen. Basierend darauf werden die Lernziele und die Lernprozesse, sowie der Ablauf der Unterrichtseinheit aufgezeigt. Alternativ kann die Lehrperson als Einstieg auch aktuelle Bilder, Zahlen oder einen Filmausschnitt zeigen, welche die Relevanz des Themas unterstreichen. Anschließend können die spontanen Meinungen der SuS eingeholt werden um so die SuS zu aktivieren und zu motivieren.

Wie von Uherek und Robinson erläutert, ist das Wissen über den Klimawandel von Fehlkonzepten und der falschen Verwendung von Begriffen geprägt (Uherek 2008; Robinson 2011). Um die zentralen Begriffe „Klima“ und „Wetter“ einzuführen und zugleich den Bezug zum Alltag herzustellen, wodurch die Lernenden aktiviert und motiviert werden sollen, wird ein Bilderquiz durchgeführt. Bei jedem Bild (siehe Abbildung 3) werden die SuS gefragt, ob es sich dabei um „Wetter“ oder „Klima“ handelt. Im Anschluss an das Bilderquiz wird die Lösung (von „Klima“ gibt es im engen Sinne keine Bilder) und die genaue Definition der Begriffe von der Lehrperson präsentiert.

Im zweiten Teil des Unterrichtes werden von der Lehrperson die verschiedenen Sphären eingeführt und Mechanismen des Klimasystems aufgezeigt. Im Anschluss daran üben und festigen die SuS das Erlernte z.B. mittels eines Arbeitsblattes (Eintragen und beschreiben der klimarelevanten Wechselwirkungen der verschiedenen Sphären) selbständig oder in Partnerarbeit ein.

Am Ende der Doppellektion werden die Arbeiten der SuS im Klassenverband zusammengetragen und diskutiert, wobei der Lehrer durch gezielte Fragen die Takehome-Messages verdeutlicht. Des Weiteren werden die Hausaufgaben erläutert und ein Ausblick auf die nächste Stunde „Klima- Was lässt sich beobachten?“ gegeben.

Hausaufgaben

Den Lernenden wird ein Fachtext über das Klimasystem (Kapitel 2 der Lehrreihe "Mut zur Nachhaltigkeit: Klima und Ozeane") abgegeben. Ziel der Hausaufgabe ist es, das Wissen über das Klimasystem im Selbststudium zu festigen und weiter zu vernetzen. Die SuS werden dabei aufge-

fordert, zwei zentrale Erkenntnisse sowie zwei offene Fragen zu notieren und diese in der nächsten Lektion der Lehrperson abzugeben.

6.2. Lektion 2: Klima – was lässt sich beobachten?

Lernziele

- Die Lernenden können die Unterschiede zwischen instrumentellen Messung und paläoklimatischen Approximationen der Klimaänderung erläutern (K2).
- Die Lernenden sind in der Lage, die globalen Veränderungen der Temperatur, des Niederschlags, der Schneebedeckung und des globalen Meeresspiegels zu beschreiben (K2).
- Die Lernenden sind in der Lage, die Unsicherheiten der Messungen der Klimaänderungen abzuschätzen und können die Aussagekraft der Forschungsergebnisse richtig beurteilen (K6).

Inhalt und didaktisch methodische Überlegungen

Die Lernenden werden aufgefordert, die Erkenntnisse aus dem gelesenen Text (siehe Hausaufgabe von Kapitel 6.1), sowie die offenen Fragen kurz im Klassenverband zusammenzutragen und zu diskutieren. Der Lehrer fungiert dabei als Moderator und klärt offene Fragen, falls die Lernenden die Fragen ihrer Mitschülerinnen nicht eindeutig beantworten können.

Im Anschluss daran präsentiert die Lehrperson die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die historische Entwicklung des Klimas. Im Rahmen des Lehrvortrages werden die auf den instrumentellen Messdaten basierenden Temperatur-, Niederschlags-, Schneebedeckungs- und Meeresspiegeländerungen aufgezeigt. Darüber hinaus werden die paläoklimatischen Methoden zur Bestimmung des historischen Klimas kurz eingeführt. Nach dem Lehrvortrag bekommt jeder SuS einen von vier verschiedenen Arbeitstexten zu je einer paläoklimatischen Messmethode. Nach dem individuellen durchlesen des Textes werden Vierergruppen gebildet, in denen gemeinsam ein Arbeitsblatt bearbeitet wird (Inhalt: Funktionsweise, Resultate und Unsicherheiten der jeweiligen Messung). Durch die selbständige Wissensaneignung und den Wissensaustausch soll das erlernte Wissen gefestigt und ergänzt, sowie wird die Fähigkeit zur Interpretation von wissenschaftlichen Abbildungen gefördert werden. Alternativ kann die Übung auch als Gruppenpuzzle ausgeweitet werden. Dabei setzen sich die SuS nach dem individuellen Lesen zuerst in einer Expertengruppe (SuS die den gleichen Text gelesen haben) zusammen und klären die offenen Fragen. Danach setzen sich die Experten in ihren Stammgruppen zusammen und geben das erworbene Wissen ihren Mitschülern weiter.

Anschliessend an die Gruppenarbeit werden von der Lehrperson die offenen Fragen geklärt und die wichtigsten Erkenntnisse nochmals kurz zusammengefasst. Um den Inhalt der nächsten Lektion in Ausblick zu stellen wird die Frage nach den Ursachen der behandelten Klimaänderung aufgeworfen (jedoch nicht beantwortet).

Hausaufgaben

Keine (Medienbeobachtung der SuS zum Thema „Klimawandel“ denkbar).

6.3. Lektion 3: Was sind die Ursachen des Klimawandels?

Lernziele

- Die Lernenden können die einzelnen Komponenten der globalen Energiebilanz erläutern (K2).
- Die Lernenden können die wichtigsten natürlichen und anthropogenen Einflussfaktoren der globalen Energiebilanz beschreiben (K2).
- Die Lernenden können beurteilen, inwiefern der beobachtete Klimawandel auf natürliche bzw. auf menschliche Einflussfaktoren zurückzuführen ist (K6).

Inhalt und didaktisch methodische Überlegungen

Der Unterricht beginnt mit einem im Klassenverband erstellten Mindmap über die möglichen Ursachen des Klimawandels. Dabei werden die Beiträge der Studierenden, die auf dem Vorwissen und den Erkenntnissen über die Mechanismen des Klimasystems (Lektion 1) beruhen, von der Lehrperson strukturiert und an der Wandtafel festgehalten.

Anschliessend wird in einem Lehrvortrag das Konzept der globalen Energiebilanz vermittelt und dessen Einflussfaktoren aufgezeigt. Dabei wird zwischen natürlichen und anthropogenen Ursachen der Klimaänderung unterschieden, deren Prinzipien ebenfalls im Rahmen des Lehrvortrages beschrieben werden. Dabei stellt sich die Frage, wie tiefgründig vor allem die dem Treibhauseffekt zugrundeliegenden physikalischen und chemischen Mechanismen (z.B. Strahlungskörper oder die molekulare Absorption der Strahlung) behandelt werden soll. Dies hängt stark von den Vorkenntnissen der Studierenden, sowie von den anderen Vorlesungen ab und bedarf noch weiteren, im Rahmen dieser Arbeit nicht möglichen Abklärungen.

Der relativ lange Lehrvortrag wurde bewusst gewählt, um den Lernprozess der Studierenden bei der Vermittlung von relativ komplexen Konzepten effizient steuern zu können. Damit die Studierenden das vermittelte Wissen jedoch auch aktiv anwenden können, werden Aufgaben zur individuellen Bearbeitung abgegeben (Arbeitsblatt bei dem die SuS basierend auf einem Arbeitstext, den globale Energiebilanz schematisch rekonstruieren müssen). Nach der Besprechung des Arbeitsauftrages werden durch die Lehrperson die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst und der Inhalt der nächsten Lektion vermittelt. Alternativ können auch die SuS ihre Erkenntnisse des Unterrichtes zusammentragen und so das Erlernte repetieren und festigen. Die Lehrperson ergänzt und korrigiert falls nötig.

Hausaufgaben

Keine.

6.4. Lektion 4: Wie entwickelt sich das Klima?

Lernziele

- Die Lernenden können die Grundzüge eines Klimamodells beschreiben (K2) und können den Temperaturverlauf der verschiedenen IPCC Klimaszenarien richtig interpretieren (K2).
- Die Lernenden können die Klimavorhersagen für die Schweiz aufzählen (K1).

Inhalt und didaktisch methodische Überlegungen

Als Einstieg in den Unterricht werden im Rahmen eines Quiz (Behauptungen wahr oder falsch?) das Gelernte zu den Ursachen der Klimaänderung nochmals repetiert. Nach dem einführenden Unterrichtseinstieg werden die SuS von der Lehrperson mit den Grundprinzipien von Klimamodellen vertraut gemacht. Dabei werden die Grundannahmen von Klimamodellen kurz beschrieben und die Zusammenhänge von Klimaszenarien, Treibhausgasemissionen und die klimatischen Auswirkungen (z.B. auf die Temperatur) aufgezeigt. Danach erarbeiten die Studierenden selbstständig das Wissen über die IPCC Klimaszenarien und versuchen die Klimaszenarien bezüglich der Klimaauswirkungen zu bewerten (adaptiertes Arbeitsblatt 7 von www.institutfutur.de⁶). In einem nächsten Schritt werden die Lösungen der Studierenden mit den gemäss IPCC zu erwartenden Klimaänderungen verglichen. Dabei werden nicht nur die globalen Auswirkungen, sondern auch die zu erwartenden Auswirkungen für die Schweiz thematisiert.

Hausaufgaben

In Zweier- oder Dreiergruppen wird den SuS ein von den Klimaänderungen betroffener Sektor (z.B. Tourismus) zugewiesen. Die Studierenden informieren sich über die sektorspezifischen Auswirkungen des Klimawandels und erstellen fünf PowerPoint-Folien, die sie zu Beginn der folgenden Lektion der Klasse kurz vorstellen werden.

6.5. Lektion 5: Was sind die Auswirkungen des Klimawandels?

Lernziele

- Die Lernenden können je zwei Beispiele für die Auswirkungen der Klimaerwärmung pro Sektor nennen (K1).
- Die Lernenden können die Folgen des erwarteten Klimawandels für ein beliebiges Land ableiten (K3).

Inhalt und didaktisch methodische Überlegungen

Nach dem Unterrichtseinstieg durch die Lehrperson, präsentieren die SuS die in Partnerarbeit erstellten PowerPoint Folien zu den sektoriellen Auswirkungen der Klimaerwärmung im Klassenverband. Dabei gibt es pro Sektor mehrere Vorträge, die jeweils in einem Block präsentiert werden. Im Anschluss an jeden Block werden die Fragen der Mitstudierenden durch die Referenten geklärt. Noch fehlende Aspekte werden durch die Lehrperson vermittelt, um so möglichst die gesamte Spannbreite der Auswirkungen auf einen Sektor abzudecken. Im Allgemeinen soll der Themenblock die weltoffene Wahrnehmung der SuS bezüglich den Auswirkungen des Klimawandels, der bis anhin vor allem durch die entwickelten Länder verursacht wurde, fördern. Im Speziellen gilt es die Empathie und der Solidarität mit den Betroffenen, die am Verwundbarsten sind (z.B. rurales Afrika), zu stärken.

Nach der Pause werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweiz durch die Lehrperson vermittelt. Dies ist für die Studierenden ebenfalls relevant, da sie davon privat und als ange-

⁶ aus: http://www.institutfutur.de/transfer-21/daten/materialien/tamaki/t1_klimawandel.pdf

hende Umwelttechniker direkt betroffen sind. Im Anschluss daran wird eine Filmsequenz aus dem Film „Home“⁷ eingespielt, wobei das bereits Gelernte durch aussagekräftige Bilder und Fakten gefestigt wird. Die multiple Repräsentation der Fakten über die Auswirkung der Klimaerwärmung in Form von bewegten Bildern, soll zudem die Vernetzung des Wissens der SuS fördern. Die SuS werden gebeten die wichtigsten durch den Film vermittelten Fakten während des Filmes aufzuschreiben, welche dann anschliessend im Klassenverband diskutiert werden. Dabei empfiehlt sich ein Arbeitsblatt mit den genauen Anweisungen auszuarbeiten, um den Auftrag und die Form klar zu vermitteln.

Hausaufgaben

Die Studierenden werden am Schluss der Stunde in die zwei Gruppen „Klimaskeptiker“ und „Klimaforscher von IPCC“ eingeteilt und werden aufgefordert sich für eine Pro-Kontra-Debatte vorzubereiten. Die Lehrperson gibt dafür ein Text für jede Gruppe ab (z.B. Material KLIO8 der Bildungsinitiative „Mut zur Nachhaltigkeit“⁸ und verweist auf verschiedene Onlineseiten⁹. Dabei sollen sich die Studierenden mit der Argumentationslinie der Klimaskeptiker und deren Gegenargumenten auseinandersetzen und diese nach Oberthemen clustern (schriftlich).

6.6. Lektion 6: Klimaschwindel?

Lernziele

- Die Lernenden können die Argumentationslinien der Klimaskeptiker beschreiben (K2) und können basierend auf wissenschaftlichen Fakten eine Gegenargumentation formulieren (K5).

Inhalt und didaktisch methodische Überlegungen

Nachdem der Ablauf der Lektion und die Lernziele vermittelt wurden, wird zur Einstimmung auf die Pro-Kontradebatte eine kurze Filmsequenz über eine emotionale Argumentation der Klimaskeptiker („CO₂ – they call it pollution, we call it live“¹⁰) gezeigt. Im Anschluss werden Studierende zur fiktiven Klimakonferenz in Bangladesch begrüsst, wobei sich die Anwesenden Forscher und Wissenschaftler schnell zwei Gruppen teilen: Die Klimaskeptiker und Forscher, die den Klimawandel nicht bezweifeln. Die Klasse wird nun in die beiden Gruppen aufgeteilt, die kurz zusammensitzen und ihre Argumentationslinie besprechen. Dabei verwenden die StudentInnen die Argumentations-Cluster, welche sie zur Vorbereitung der Lektion selbständig erarbeitet haben. Danach debattieren die beiden Gruppen über die Ursachen, die Entwicklung und die Auswirkungen des Klimawandels, wobei ein Studierender oder die Lehrperson die Moderation übernimmt. Ziel der Debatte ist die aktive Auseinandersetzung mit gegensätzlichen Interpretationen von wissenschaftlichen Fakten. Dabei soll das Wissen vernetzt und die transdisziplinäre Auseinandersetzungen mit einer Problemstellung gefördert werden. Weiter wird auch die argumentative Kompetenz der SuS gestärkt.

⁷ Home (1:00:00 - 1:15:00), <http://www.youtube.com/user/homeproject?blend=1&ob=4#p/a/f/0/jqxENMKaeCU>

⁸ <http://www.mut-zur-nachhaltigkeit.de>

⁹ Z.B. <http://www.klimaskeptiker.info> oder <http://www.proclim.ch/4dcgi/proclim/en/Media?1501>

¹⁰ <http://www.youtube.com/watch?v=7sGKvDNdJNA>

Zum Abschluss der Lektion wird der Ablauf des Rollenspiels und die wichtigsten Erkenntnisse der SuS im Klassenverband reflektiert.

Hausaufgaben

Keine.

6.7. Lektion 7: Was unternimmt die Politik und was sind mögliche technische Massnahmen?

Lernziele

- Die Lernenden können die wichtigsten Geschehnisse der internationalen und schweizerischen Klimapolitik nennen (K1) und können die Relevanz der wichtigsten Klimakonventionen und der klimarelevanten Schweizer Gesetze beschreiben (K2)
- Die Lernenden können nationale klimapolitische Massnahmen selber entwerfen (K5) und deren Wirksamkeit und Hindernisse grob beurteilen (K6).
- Die Lernenden können die klimarelevanten Schweizergesetze in Bezug auf deren Wirksamkeit zur Erreichung der Klimaziele beurteilen (K6).
- Die Lernenden können verschiedene technologische Strategien, die zur Verminderung der Treibhausgasemissionen beitragen nennen (K1), deren Funktionsweise beschreiben (K2).

Inhalt und didaktisch methodische Überlegungen

Im Rahmen des Unterrichtseinstiegs werden die SuS nach ihren Kenntnissen über nationale und internationale politische Massnahmen zum Klimaschutz gefragt. Das Wissen wird durch die Lehrperson in Form eines Mindmaps an der Wandtafel zusammengetragen. Somit beginnt der Unterricht lernerzentriert, wobei die SuS aktiviert und die Vorkenntnisse abgerufen werden. Dies ermöglicht der Lehrperson den folgenden Lehrvortrag auf den Wissenstand der SuS abzustimmen, wobei Themen, die bekannt sind schneller behandelt und bei den Wissenslücken der SuS mehr Zeit investiert wird. Ziel des Lehrvortrages ist es, einen chronologischen Überblick über die wichtigsten Geschehnisse auf nationaler und internationaler Ebene zu vermitteln. Dabei werden die wichtigsten nationalen und internationalen Institutionen, deren Rollen und die politischen Instrumente eingeführt.

In einem nächsten Teil wird ein kurzer Filmausschnitt¹¹ eingespielt, der die Ursachen, die Entwicklung und die Auswirkungen des Klimawandels sowie die politischen Massnahmen aufgreift. Die SuS werden dabei aufgefordert, den Film auf die sachliche Richtigkeit zu prüfen, sowie zwei Kernaussagen des Filmes zu notieren. Die Erkenntnisse der Lernenden werden anschliessend im Klassenverband an der Wandtafel zusammengetragen, wobei die Lehrperson als Moderator fungiert. Ziel des Unterrichtsblocks ist es, das bereits erlernte Wissen der SuS in einer anderen Form (bewegte Bilder) zu repräsentieren, um so das Wissen weiter zu festigen und zu vernetzen.

Der letzte Unterrichtsteil behandelt verschiedene technische Massnahmen die zur Mitigation von Treibhausgasen beitragen. Der Schwerpunkt wird dabei vor allem auf erneuerbare Energien gelegt, da diese für die SuS des Studienganges „Erneuerbare Energien und Umwelttechnik“ von

¹¹ <http://www.youtube.com/watch?v=dMDQzXvEBTE>

zentraler Bedeutung sind. In der kurzen Einführung durch die Lehrperson, wird die Relevanz von erneuerbaren Energiesystemen im Allgemeinen aufgezeigt (z.B. fossile Energien sind zu XX% Hauptverursacher der anthropogenen Treibhausgasemissionen) und eine Auswahl von Technologien kurz beschrieben. Anschliessend bewerten die SuS in Gruppenarbeit die kurz-, mittel- und langfristigen Potentiale und Hemmnisse für ausgewählte erneuerbare Energien. Ziel des Unterrichtsblockes ist, dass sich die SuS aktiv mit der technischen Funktionsweise von erneuerbaren Energien und den für die Marktdurchsetzung der Technologien relevanten Faktoren auseinandersetzen. Dabei ist darauf zu achten, dass diese Fragestellungen ebenfalls in anderen Unterrichtseinheiten des Studiums behandelt werden, was eine gute Koordination der Inhalte mit den entsprechenden Lehrpersonen erfordert.

Hausaufgaben

Keine.

6.8. Lektion 8: Wie bewerte ich die Klimafreundlichkeit von Produkten und Dienstleistungen?

Lernziele

- Die Lernenden können das Konzept der Lebenszyklusbetrachtung in eigenen Worten beschreiben (K2) und können den Lebenszyklus von erneuerbaren Technologien selber erstellen (K3).
- Die Lernenden können den Rebound-Effekt erklären (K2) und können mögliche Rebound-Effekte von erneuerbaren Technologien selber abschätzen (K3)

Inhalt und didaktisch methodische Überlegungen

Die Bewertung der klimatischen Auswirkungen von Produkten und Dienstleistungen ist insbesondere für SuS des Studienganges „Erneuerbare Energien und Umwelttechnik“ von zentraler Bedeutung. Dies wird zu Beginn des Unterrichtes mittels relevanten Fragen an die SuS unterstrichen (z.B. Frage nach den Treibhausgasemissionen verschiedener erneuerbaren Energien verglichen mit fossilen Energieträgern), um die SuS für die Lektion zu motivieren und zu aktivieren.

In einem nächsten Schritt wird das Konzept der Lebenszyklusbetrachtung mittels Lehrvortrag eingeführt. Um die SuS aktiv in den Unterricht einzubinden und das frontal vermittelte Wissen zu transferieren, wird ein aktuelles Fallbeispiel (z.B. Energie aus Biomasse) verwendet. Die Bearbeitung des Fallbeispiels soll helfen, die theoretischen Grundlagen zu kontextualisieren und einzuüben. Dabei sollen die SuS den Lebenszyklus des Fallbeispiels in Partnerarbeit selber schematisch darstellen. Die Partnerarbeit soll die Schüleraktivität, die Schülerselbstständigkeit und das soziale Lernen fördern.

Nach Besprechung des von den SuS erstellten Lebenszyklus wird im Rahmen eines Lehrvortrages das methodische Vorgehen zur Bewertung der klimatischen Auswirkungen der betrachteten Lebenszyklen vermittelt (Stichwort „Ökobilanz“). Den SuS wird der Auftrag gegeben, die klimarelevanten Aspekte von verschiedenen erneuerbaren Energien und Umwelttechniken qualitativ abzuschätzen. Anschliessend werden die Vermutungen der SuS im Klassenverband zusammengetragen und diskutiert. Die Lehrperson stellt in dem Rahmen auch die CO₂-Bilanz der behandelten erneuerbaren Energien und Umwelttechniken vor und moderiert die Diskussion

über die Interpretation der Resultate. Ziel dabei ist es die SuS über die klimarelevanten Aspekte von erneuerbaren Energien im Vergleich zu fossilen Energien zu sensibilisieren sowie die methodischen Kenntnisse (inkl. Grenzen und Unsicherheiten) zu stärken.

In einem nächsten Schritt sollen die Einsparpotentiale von erneuerbaren Energien und effizienten Technologien relativiert werden. Dabei vermittelt die Lehrperson das Konzept des Rebound-Effektes mittels Lehrvortrages. Anschliessend werden die SuS dazu aufgefordert mögliche Rebound-Effekte von ausgewählten Technologien in Partnerarbeit zu identifizieren. Die Resultate werden anschliessend in der Klasse kurz vorgetragen und diskutiert.

Am Ende der Lektion werden die offenen Fragen geklärt und die Hausarbeit eingeführt.

Hausaufgaben

Die SuS berechnen ihren persönlichen CO₂-Fussabdruck mittels eines online Rechners (z.B. <http://co2-rechner.wwf.de/wwf/index.php>). Nebst der Berechnung der persönlichen CO₂-Bilanz informieren sich die SuS auch über die der Berechnung zugrundeliegenden Annahmen (Hintergrunddaten, Vereinfachungen, etc.). Die SuS bringen einen Ausdruck der persönlichen Bilanz in die nächste Stunde mit.

6.9. Lektion 9: Was kann ich als Privatperson tun?

Lernziele

- Die Lernenden können ihren persönlichen CO₂-Fussabdruck berechnen (K3) und sind in der Lage basierend darauf gezielte Handlungsoptionen zur Verringerung ihres CO₂-Fussabdrucks zu entwickeln (K5).
- Die Lernenden können die Zusammenhänge zwischen dem Fleischkonsum und den Auswirkungen auf das Klima formulieren (K5).

Inhalt und didaktisch methodische Überlegungen

Als Einstieg werden der Ablauf und die Lernziele der Lektion bekannt gegeben, sowie die Relevanz der eigenen Handlung zur Mitigation von Treibhausgasemissionen aufgezeigt (Private Haushalte verursachen 23%), um die SuS zu aktivieren und motivieren. In diesem Rahmen können auch Fragen gezielt an die SuS gerichtet werden: Was denkt ihr, was könnt ihr als Privatperson tun?

Im Anschluss erhebt die Lehrperson im Bezug zur Hausaufgabe (persönlicher CO₂-Fussabdruck) eine Umfrage und trägt die Emissionen der SuS, sowie die relevantesten Ursachen zusammen (auf einer Folie). Dabei wird die Streuung innerhalb der Klasse diskutiert, sowie der Vergleich zum schweizerischen und globalen Durchschnitt gezogen.

In einem nächsten Schritt erarbeiten die SuS in Partnerarbeit realistische Handlungsoptionen die zur Verminderung der persönlichen Emissionen beitragen. Von der Lehrperson werden kurze Arbeitstexte zu den verschiedenen Massnahmen abgegeben.

Durch die Übung „Kühe sind Klimasünder“¹² wird für einen zentralen Klima-Aspekt der „Essgewohnheit“ vertieft. Dabei erarbeiten sich die SuS die Grundlagen über die Zusammenhänge zwi-

¹² Arbeitsmaterial 5 von „Klima und Ozeane“ der Bildungsinitiative „Mut zur Nachhaltigkeit“.

schen steigendem Fleischkonsum, der Ausbreitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche und den Veränderungen des Klimas basierend auf Arbeitstexten. Die Übung fördert dabei das vernetzte und vorausschauende Denken, sowie die distanzierte Reflexion über die eigenen Handlungen.

Abschliessend werden die SuS gebeten, die wichtigsten Erkenntnisse aus den vergangenen Unterrichtseinheiten zusammenzutragen, sowie den persönlichen Lernprozess zu beschreiben und ein Feedback über die Unterrichtsgestaltung zu geben. Dies dient der Reflexion der SuS und hilft der Lehrperson den Unterricht kritisch zu betrachten. Auch ein formativer Test ist denkbar, was den SuS helfen würde, ihre Defizite zu erkennen um sich dementsprechend auf die Prüfung vorbereiten zu können.

Hausaufgaben

Prüfungsvorbereitung (erwähnen der Lernziele).

6.10. Übersicht Unterrichtsablauf

Tabelle 5 gibt einen groben Überblick über die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Inhalte sowie über die vorgeschlagenen Unterrichtsmethoden und die didaktische Funktion der 9 Unterrichtslektionen.

Tabelle 5: Übersicht über den Inhalt, die Unterrichtsmethoden und die didaktische Funktion für jede der 9 Unterrichtslektionen.

Lektion	Inhalt	Unterrichtsmethoden und didaktische Funktion	Hausaufgaben
1	Wie entsteht das Klima?		
10'	Einführung ins Thema	IU (Motivieren, Inhalte und Ziele vereinbaren, Lernprozessüberblicken, Vorwissen aktivieren)	Lesen Kapitel 2 aus "Mut zur Nachhaltigkeit: Klima und Ozeane". Dokumentation: Offene Fragen, schriftlich.
10'	Was ist der IPCC?	Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
10'	Wetter vs. Klima	Bilderquizz Wetter oder Klima (Motivation, Vernetzung der Inhalte), Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
55'	Das Klimasystem	Lehrvortrag (Stoffvermittlung), Arbeitsblatt 1 (Erlerntes einüben)	
5'	Schluss	Lehrgespräch (Take-home Message, offene Fragen klären, Einführung HA)	
2	Klima – was lässt sich beobachten?		
5'	Besprechung der Hausaufgabe	Klassengespräch (Vernetzung und Festigung der Inhalte, sowie Klärung von offenen Fragen)	
5'	Einführung	IU (Motivieren, Inhalte und Ziele vereinbaren, Lernprozessüberblicken, Vorwissen aktivieren)	
25'	Direkte Beobachtungen	Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
5'	Paläoklimatische Perspektive	Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
40'	Paläoklimatische Perspektive	Arbeitstext (Stoffvermittlung), Gruppenarbeit (Stoffvermittlung und Vernetzung der Inhalte)	
5'	Schluss	Lehrgespräch (Take-home Message, offene Fragen klären)	
3	Was sind die Ursachen des Klimawandels?		
5'	Einführung	IU (Motivieren, Inhalte und Ziele vereinbaren, Lernprozessüberblicken, Vorwissen aktivieren)	
5'	Einstieg	Mindmap "Ursachen des Klimawandels"	
20'	Globale Energiebilanz	Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
10'	Natürlicher Klimawandel	Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
50'	Anthropogener Klimawandel	Lehrvortrag (Stoffvermittlung), Arbeitsblatt 3 (Vernetzung der Inhalte)	
5'	Schluss	Lehrgespräch (Take-home Message, offene Fragen klären, Einführung HA)	
4	Wie entwickelt sich das Klima?		
5'	Einführung	IU (Motivieren, Inhalte und Ziele vereinbaren, Lernprozessüberblicken, Vorwissen aktivieren)	Erarbeitung von Klimaauswirkungen auf ein Bereich (z.B. Tourismus). Dokumentation: 5 PowerPoint Folien
10'	Klimamodelle	Lehrvortrag (Stoffvermittlung), Arbeitsblatt 4 (Vernetzung der Inhalte)	
30'	Klimavorhersagungen global	Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
15'	Klimavorhersagungen Schweiz	Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
5'	Reflexion	Lernprotokoll (Reflexion über die Lernschritte)	
5'	Schluss	Lehrgespräch (Take-home Message, offene Fragen klären, Einführung HA)	
5	Was sind die Auswirkungen des Klimawandels?		
5'	Einführung	IU (Motivieren, Inhalte und Ziele vereinbaren, Lernprozessüberblicken, Vorwissen aktivieren)	Clustering von Argumenten der Klimaskeptiker anhand von Literatur. Dokumentation: Cluster schriftlich festhalten
45'	Auswirkungen global	Präsentation der Studierenden (Stoffvermittlung, Präsentationskompetenz), Gruppendiskussion (Vernetzung der Inhalte, klären von Fragen)	
10'	Auswirkungen Schweiz	Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
35'	Filmsequenz Auswirkungen	Filmsequenz 1 (Stoffvermittlung, Motivation, Repetition)	
5'	Schluss	Lehrgespräch (Take-home Message, offene Fragen klären, Einführung HA)	
6	Klimaschwindel?		
10'	Einführung	Filmsequenz 2 (Motivation), Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
75'	Skepsis am Klimawandel	Pro-kontra Debatte (Vernetzung der Inhalte, Reflexion, Argumentationskompetenz)	
5'	Schluss	Lehrgespräch (Take-home Message, offene Fragen klären)	
7	Was unternimmt die Politik und was sind mögliche technische Massnahmen?		
10'	Einführung	IU (Motivieren, Inhalte und Ziele vereinbaren, Lernprozessüberblicken, Vorwissen aktivieren)	
20'	Was unternimmt die Politik?	Lehrvortrag (Stoffvermittlung)	
30'	Reflexion "Klimawandel"	Filmsequenz 3 und anschließende Diskussion (Vernetzung der Inhalte, Festigung des Erlernten, Reflexion), Gruppendiskussion (Vernetzung der Inhalte, klären von Fragen)	
30'	Technische Massnahmen	Lehrvortrag (Stoffvermittlung), Gruppenarbeit (Transfer, Vernetzung der Inhalte)	
8	Wie bewerte ich die Klimafreundlichkeit von Produkten und Dienstleistungen?		
10'	Einführung	IU (Motivieren, Inhalte und Ziele vereinbaren, Lernprozessüberblicken, Vorwissen aktivieren)	Berechnung des persönlichen CO2-Rucksacks (online CO2-Rechner). Dokumentation: Ausdruck der Bilanz
20'	Bewertungsmethode: Lebenszyklusperspektive	Lehrvortrag (Stoffvermittlung), Fallbeispiel (Transfer)	
50'	Bewertungsmethode: Bilanz von erneuerbaren Energien und Umwelttechniken	Lehrvortrag (Stoffvermittlung), Fallbeispiel (Transfer), Partnerarbeit (Vernetzung der Inhalte), Moderierte Diskussion (Vernetzung der Inhalte, klären von Fragen)	
15'	Rebound-Effekt	Lehrvortrag (Stoffvermittlung) und Partnerarbeit (Transfer, Vernetzung der Inhalte)	
5'	Schluss	Lehrgespräch (Take-home Message, offene Fragen klären, Einführung HA)	
9	Was kann ich als Privatperson tun?		
10'	Einführung	IU (Motivieren, Inhalte und Ziele vereinbaren, Lernprozessüberblicken, Vorwissen aktivieren)	Prüfungsvorbereitung
15'	Analyse: CO2-Bilanz von Privatperson	Umfrage (Neues Wissen aneignen), Moderierte Diskussion (Vernetzung der Inhalte, klären von Fragen)	
10'	Handlungsoptionen entwerfen	Partnerarbeit (Vorwissen aktivieren, Vernetzung der Inhalte)	
50'	Übung: Kühe sind Klimasünder	Arbeitsblatt X (Wissen aneignen, Vernetzung der Inhalte)	
10'	Reflexion	Lernprotokoll (Reflexion über die Lernschritte)	
5'	Schluss	Lehrgespräch (Take-home Message, offene Fragen klären, Einführung HA)	
10	Prüfung		

7. Prüfungsformen

Durch gezielte Prüfungen soll erfasst werden, inwiefern die Lernziele erreicht und die Lernenden über die vermittelten und erarbeiteten Kompetenzen verfügen. Die Kompetenzen können dabei abschliessend durch Prüfungsfragen getestet werden (summative Prüfungen) und der Lernprozess kann studienbegleitet überwacht werden (formative Prüfungen).

Der Unterricht zielt im Allgemeinen auf die Vermittlung von Fachkenntnissen und Methodenkenntnissen sowie beruflichen Handlungskompetenzen ab. Dabei sollen die Lernenden das Fachwissen und die Methoden nicht nur verstehen, sondern auch ein höheres Niveau der Verfügbarkeit erlangen, im Sinne von Anwendung, Analyse, Synthese und Beurteilung. In der abschliessenden Prüfung ist es wichtig, dass sich die Fragen strikt auf die Lernziele beziehen und auch alle Zielebenen adressieren.

Um den Lernprozess der SuS und somit den Unterricht möglichst sinnvoll gestalten zu können, ist es für die Lehrperson hilfreich, den Wissensstand der Studierenden zu kennen. Dies gilt einerseits für das unterrichtsrelevante Wissen vor der eigentlichen Unterrichtseinheit, andererseits aber auch für deren gesamten Verlauf. Mittels formativer Prüfungsformen kann kontrolliert werden, ob die Lernenden die angestrebten Lernschritte vollzogen haben oder der geplante Unterricht angepasst werden muss (unklare Aspekte wiederholen oder überspringen). Auch für die Lernenden ist es wichtig, den persönlichen Wissensstand bereits während dem Unterricht einschätzen zu können und nicht erst durch die summative Prüfung zu erfahren, wo sie stehen. Nur wenn die Wissenslücken frühzeitig bekannt sind, können die SuS durch das Selbststudium diese aktiv schliessen und so vermeiden, dass sie den Anschluss verlieren.

Dabei stellt sich die Frage, wie die formativen Prüfungsformen als konstruktive Elemente für den Kompetenzerwerb und in die Lehre eingeplant werden können. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die formativen Prüfungsformen bei folgenden Elementen eingeplant:

Durch die beiden Lernprotokolle in der Mitte und am Ende des Unterrichtsblocks werden die SuS dazu angeregt, das erlernte Wissen zu reflektieren. Die Reflektion hilft den Lernenden (und durch die Abgabe des Protokolls auch der Lehrperson) sich über die gewonnenen Erkenntnisse und ihre Lernprozesse bewusst zu werden. Auch die Arbeitsblätter und die Fallbeispiele bieten Aufschluss über den persönlichen Wissensstand der einzelnen SuS. Die Lehrperson kann zusätzlich eine Prüfungssituation schaffen, damit die Lernenden ihren Wissensstand noch besser einschätzen können (z.B. in einer bestimmten Zeit sollten eine bestimmte Menge an Aufgaben richtig gelöst werden können).

Auch bei anderen schülerzentrierten Aktivitäten wie z.B. bei der Pro-Kontra-Debatte über die Ursachen und die Entwicklung des Klimawandels oder bei den Schülervorträgen zur Auswirkungen des Klimawandels lässt sich auf den Wissensstand der SuS schliessen. Solche Unterrichtsformen sind nebst der Förderung der Fach- und Methodenkompetenz auch auf die Förderung der Präsentations- und Argumentationskompetenz ausgelegt, wobei durch ein gezieltes Feedback der Lehrperson die Kompetenz konstruktiv gefördert und bewertet werden kann.

Allgemein können auch ganz einfache „Kontrollfragen“ der Lehrperson zur Überprüfung des Wissensstandes und der Lernprozesse dienen (z.B. was haben wir in der letzten Stunde behandelt?). Dabei ist es wichtig, die Antworten und Beobachtungen mit einer guten Portion Menschen-

kenntnis zu betrachten, um Fehlschlüsse zu vermeiden. Zum Beispiel muss ein Schweigen auf die vorherige Frage nicht zwingend auf fehlendes Wissen hindeuten, sondern kann andere Ursachen haben (z.B. um den Ruf des Strebsamen zu vermeiden). Weiter, muss auch eine gute Antwort nicht bedeuten, dass jeder SuS die nötigen Kompetenzen erarbeiten konnte. Denn aus Einzelantworten dürfen keine allgemeinen Rückschlüsse auf die Klasse geschlossen werden.

Im Unterricht können zwar Handlungsoptionen vermittelt und durch die Lernenden selbst erarbeitet werden, doch inwiefern diese in der Praxis umgesetzt werden ist im Rahmen des Unterrichts nicht zu prüfen

8. Literaturverzeichnis

- Duit, R. (2008). "Zur Rolle von Schülervorstellungen im Unterricht." *geographie heute* 265.
- Dupigny-Giroux, L.-A. L. (2010). "Exploring the Challenges of Climate Science Literacy: Lessons from Students, Teachers and Lifelong Learners." *Geography Compass* 4(9): 1203-1217.
- FAOSTAT (2010). Agriculture Data, Food and Agriculture Organisation of the United Nations.
- Gasser, P., Ed. (2002). *Neue Lernkultur. Eine integrative Didaktik*.
- IPCC (2007a). Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, USA., Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007.
- IPCC (2007b). Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Klimaänderung 2007: Verminderung des Klimawandels, Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, USA., Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007.
- IPCC (2007d). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC. Geneva, Switzerland.
- IPCC (2011). "FAQ1.1: Welche Faktoren bestimmen das Klima der Erde? ." Deutsche IPCC Kooperationsstelle.
- IPCCb, Ed. (2007). Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: *Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten*. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, C.E. Hanson and P.J. van der Linden, Eds., Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007.
- Liedtke, C., M. J. Welfens, et al. (2008). *Vom Wissen zum Handeln- Didaktische Module: Klima und Ozeane (KLIO). Mut zur Nachhaltigkeit*, Stiftung Forum für Verantwortung, ASKO EURO-PA-STIFTUNG, Europäische Akademie Otzenhausen GmbH, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH.
- Milankovitch, Milutin: *Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen*. Bornträger, Berlin 1930 Meyer, H. and W. Jank, Eds. (2002). *Didaktische Modelle*.
- Mörgeli, C. (2012). *Klirrend kalte Klimaerwärmung*. Weltwoche. Zürich.
- Rahmstorf, S. (2010) "Klimaschwindel bei RTL."

- Robinson, Z. (2011). Teaching Climate Change in Higher Education: Barriers and Opportunities. Pedagogy of Climate Change. France.
- Ruddiman, W. F., Ed. (2007). Earth's Climate: Past and Future, Palgrave Macmillan; Auflage: 2nd Revised edition (REV). .
- Stern, N. (2007). Stern Review Report on the Economics of Climate Change, Cambridge.
- Szalai, S. (2007) "Was ist Wetter? Definition, Unterschied zu Klima."
- Uherek, E. (2008). "European efforts in earth science and climate change education." Physical Geography 29(6).
- Zwick, S. (2007). "South Pole Carbon Asset Management: Going for Gold."